

**DISEÑO DE UNA PLANTA PARA LA PRODUCCIÓN  
DE PAPEL ARTESANAL A PARTIR DE PAPEL DE  
DESECHO.**

**ROBIN HAROLDO VARELA PEREZ**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER  
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICOMECÁNICAS  
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA  
BUCARAMANGA**

**2004**

**DISEÑO DE UNA PLANTA PARA LA PRODUCCIÓN  
DE PAPEL ARTESANAL A PARTIR DE PAPEL DE  
DESECHO.**

**ROBIN HAROLDO VARELA PEREZ**



**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER  
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO-MECÁNICAS  
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA  
BUCARAMANGA**

**2004**

**DISEÑO DE UNA PLANTA PARA LA PRODUCCIÓN  
DE PAPEL ARTESANAL A PARTIR DE PAPEL DE  
DESECHO.**

**ROBIN HAROLDO VARELA PEREZ**

**Trabajo de Grado para optar al título de  
Ingeniero Mecánico**

**Director  
OMAR ARMANDO GÉLVEZ AROCHA  
Ingeniero Mecánico**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER  
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO-MECÁNICAS  
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA  
BUCARAMANGA**

**2004.**

## **DEDICATORIA**

A Dios, y a su presencia humana en la tierra JESUSCRISTO

A mi madre con toda mi admiración, cariño y con todo mi amor,

A mi padre.

A mi persona.

## AGRADECIMIENTOS

A Omar Gélvez Arocha, director del proyecto por su respaldo, y colaboración oportuna.

A la Fundación Albeiro Vargas y Angeles custodios por darme la oportunidad de contribuir con mi trabajo al bienestar de las clases menos favorecidas.

Al laboratorio de Reología y mezclas de la Escuela de Ingeniería Química, especialmente a su auxiliar, Guillermo Acero.

A la empresa Maquinados y Montajes por su oportuna y efectiva colaboración en la cotización de los equipos.

A mi querida novia María Paola por su valiosa e incondicional colaboración.

A mis padres y familiares.

A todos mis amigos y amigas.

## CONTENIDO

	Pág.
<b>INTRODUCCIÓN</b>	1
1. EL PROYECTO	3
1.1 OBJETIVOS DEL PROYECTO	4
1.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS	4
2. LA FUNDACIÓN	6
2.1 MISIÓN	6
2.2 VISION	6
3. EL PAPEL	8
3.1 HISTORIA	8
3.2 FABRICACIÓN DEL PAPEL	12
3.2.1 Fabricación de la pulpa	12
3.2.2 Fabricación de la hoja de papel	21
4. FABRICACIÓN ARTESANAL DE PAPEL A PARTIR DE PAPEL DE DESECHO	29
4.1 EL PAPEL DE DESECHO	29
4.2 CLASIFICACIÓN DEL PAPEL DE DESECHO PARA LA FABRICACIÓN ARTESANAL	30
4.3 PESAJE DEL PAPEL	31
4.4 DESFIBRADO DEL PAPEL	31
4.5 DESTINTADO DEL PAPEL	33
4.6 CONFORMACIÓN DEL PAPEL	35

4.7 PRENSADO	
4.8 SECADO	37
5. DISEÑO DEL TALLER PARA LA FABRICACIÓN SEMIARTESANAL DE PAPEL	38
5.1 ÁREA MÁXIMA DISPONIBLE PARA EL TALLER DE PAPEL	38
5.2 EQUIPOS EXISTENTES EN EL TALLER DE LA FUNDACIÓN ALBEIRO VARGAS Y ANGELES CUSTODIOS	41
5.3 IDENTIFICACION DE LAS VARIABLES MÁS IMPORTANTES EN EL PROCESO DE PRODUCCIÓN DE PAPEL	43
5.3.1 Consistencia	43
5.3.2 El color del papel de desecho	43
5.3.3 El tamaño de las hojas de papel de desecho	44
5.3.4 El tiempo para la humectación del papel	44
5.3.5 El tiempo para el conformado de la pulpa	44
5.3.6 La temperatura del agua de humectación y conformado de la pulpa.	44
5.3.7 El tipo de agitador e impulsor para convertir el papel en pulpa	45
5.4 CANTIDAD DE PAPEL Y AGUA LA FABRICACIÓN ARTESANAL DE 1000 HOJAS DE PAPEL DE 56X36 CM	45
5.5 DETERMINACIÓN DE LOS EQUIPOS NECESARIOS PARA LA PRODUCCIÓN DE PAPEL	48
5.6 DISEÑO DE LA MAQUINA PARA HUMECTACION DESFRIBADO Y DESTINTADO	50
5.6.1 Determinación del volumen de pulpa que trabajara la maquina	50
5.6.2 Diseño del agitador	52
5.6.3 Celda de flotación	85
5.7 BANDA PARA TRANSPORTE Y ESCURRIDO DE LAS HOJAS	92
5.7.1 Calculo de la longitud de banda requerida	93

5.7.2 Geometría para soporte de la banda	94
5.7.3 Selección del material de la banda	95
5.7.4 Peso del material a transportar sobre la banda	95
5.7.5 Rodillos motores	96
5.7.6 Rodillos auxiliares	99
5.7.7 Razón de carga sobre la banda	101
5.7.8 Velocidad de la banda	101
5.7.9 Cálculo de potencia necesaria para la banda	102
5.7.10 Cálculo del eje del rodillo motor	110
5.7.11. Selección del motoreductor para la banda	111
5.7.12 Diseño del rodillo	111
5.7.13 Cálculo de la estructura de soporte para la banda	118
5.7.14 Bandeja recolectora de agua	121
5.8 MESAS DE TRANSFERENCIA DE TINAS A BANDAS	122
5.9 DISEÑO DE LA PRENSA	122
5.9.1 Rediseño de la viga de soporte	124
5.9.2 Cálculo de la fuerza de empuje dada por la prensa	124
5.9.3 Placa de presión	133
5.9.4 Estructura de la prensa	136
5.10 TUBERÍA NECESARIA EN EL TALLER	137
5.10.1 Tubería de transporte de pulpa a las tinajas	137
5.10.2 Tubería para agua residual	139
5.11 TANQUE DE AGUAS RESIDUALES	140
5.12 SELECCIÓN DE LA BOMBA PARA EL AGUA DE RECIRCULACIÓN	140
5.13 DISTRIBUCIÓN DE LOS EQUIPOS DISEÑADOS EN EL TALLER	140
5.14 ASPECTOS DE SALUD OCUPACIONAL PARA EL DISEÑO DEL TALLER	140

5.14.1 Control de condiciones físicas	146
5.14.2 Control de condiciones de seguridad	147
6. COSTOS	152
7. CONCLUSIONES	155
BIBLIOGRAFÍA	157
ANEXOS	160

## GLOSARIO

**ÁNGEL CUSTODIO:** Nombre dado en la Fundación Albeiro Vargas y Angeles custodios a los niños que ayudan en el tratamiento integral de los ancianos.

**BAFFLE O DESVIADOR:** Lámina unida en sentido radial en el interior de un agitador para generar flujo axial.

**CELULOSA:** Material fibroso que es el principal componente de la pared celular de todas las maderas, pajas, pastos, etc.

**DISPERSAR:** Separar lo que estaba reunido.

**ENCOLANTE:** Líquido o solución utilizado para aumentar las propiedades físicas del papel.

**HIDRÓFOBA:** Que repele al agua.

**IMBRICAR:** Sobreponer parcialmente una serie de cosas.

**INTERLON:** Tela muy fina y sedosa que permite drenar el agua similar a un colador con agujeros muy pequeños

**KNOW HOW:** Experiencia y tecnología desarrollada para la elaboración de una tarea.

**LIGNINA:** Sustancia de protección de las membranas de las células de los tejidos de acción mecánica y de sostén de las plantas.

**PULPA:** Mezcla de materiales fibrosos y no fibrosos, en suspensión y solución acuosa, en las proporciones adecuadas que se utilizan en la fabricación de papel.

**RECICLAR:** Volver a utilizar objetos, bien con el mismo fin o bien para transformarlos en otros nuevos.

## LISTA DE FIGURAS

	<b>Pág.</b>
Figura 1. Fabricación de pulpa química.	14
Figura 2. Fabricación de pulpa de papeles usados.	20
Figura 3. Bastidor par fabricar papel a mano.	23
Figura 4. Fabricación Industrial del Papel.	24
Figura 5. Rollos de papel fabricado industrialmente.	26
Figura 6. Esquema de fabricación de pulpa de papel y de papel industrialmente.	28
Figura 7. Desfibrador.	33
Figura 8. Celda de flotación tradicional.	35
Figura 9. Conformación de la hoja.	36
Figura 10. Área máxima disponible para el taller de papel de la fundación Albeiro Vargas y Angeles custodios.	38
Figura 11. Plano del Taller Pavimentado y techado actualmente.	40
Figura 12. Agitador horizontal	53
Figura 13. Agitador de accionamiento lateral.	53
Figura 14. Agitador vertical.	54
Figura 15. Geometrías costo efectivas para agitadores verticales.	56
Figura 16. Forma seleccionada para el agitador.	57
Figura 17. Espectro de impulsor relacionando flujo/ cabeza (Corte) a potencia constante para varios tipos de impulsores.	62

Figura 18. Geometrías para impulsores axiales.	63
Figura 19. Hélice A-310.	64
Figura 20. Patrones de flujo dados por una hélice axial. A. Centrada sin bafles. B. Centrada con bafles C. Descentrada sin bafles.	66
Figura 21. Mezclador Lightnin L5U08	68
Figura 22. Estado final de la pulpa y hélice utilizada.	69
Figura 23. Curvas de Potencia- Consistencia para pulpa de papel reciclado.	70
Figura 24. Variación de la potencia con el cambio en las revoluciones por minuto.	70
Figura 25. Eje del Agitador	73
Figura 26. Cargas sobre el eje del agitador	74
Figura 27. Esfuerzo cortante contra tiempo para el eje del agitador	75
Figura 28. Dimensiones principales de una cuña	79
Figura 29. Fuerzas sobre una cuña a torsión.	79
Figura 30. Viga de soporte para el sistema de potencia.	84
Figura 31. Recipiente para espuma de destintado	90
Figura 32. Longitud de la banda.	93
Figura 33. Dimensiones principales para la estructura de la banda.	95
Figura 34. Forma de construcción de los rodillos.	97
Figura 35. Dimensiones del rodillo motor	98
Figura 36. Dimensiones del rodillo deslizante	100
Figura 37. Rodillo motor	111
Figura 38. Cargas sobre rodillo motor	112
Figura 39. Estado de carga sobre rodillo motor.	114
Figura 40. Diagrama de carga sobre rodillo motor plano X Y	115
Figura 41. Diagrama de carga sobre rodillo motor plano X Z	116

Figura 42. Cargas sobre la estructura de la banda	118
Figura 43. Chequeo para la parte horizontal de la banda	119
Figura 44. Análisis estructural para la parte inclinada de la banda	120
Figura 45. Prensa manual.	122
Figura 46. Dimensiones principales del tonillo de potencia	124
Figura 47. Carga de empuje de la prensa.	126
Figura 48. Cargas sobre la viga de soporte de la prensa	127
Figura 49. Diagrama de cortante y momento flector para la viga de la prensa.	127
Figura 50. Viga de soporte para la prensa.	128
Figura 51. Análisis por elementos finitos de la viga de soporte.	129
Figura 52. Viga de soporte reforzada	129
Figura 53. Análisis por elementos finitos de la viga de soporte con refuerzo central	130
Figura 54. Forma de unión entre el tornillo y la placa de presión	131
Figura 55. Estado de cargas para la placa de presión.	132
Figura 56. Geometría propuesta para la placa de presión	132
Figura 57. Análisis por elementos finitos de la placa de presión, espesor $\frac{1}{4}$ pulg.	134
Figura 58. Placa de presión espesor de lamina $\frac{5}{16}$ pulgada.	135
Figura 59. Esquema de la condición hidráulica del agitador	137
Figura 60. Tanque para agua residual.	140
Figura 61. Esquema de recirculación de agua.	140

## LISTA DE TABLAS

	<b>Pág.</b>
Tabla 1. Comparación de las necesidades de energía de acuerdo a tipo de pulpa producida.	20
Tabla 2. Equipos y accesorios existentes en el taller.	42
Tabla 3. Espesores mínimos recomendados de acuerdo al diámetro del recipiente.	60
Tabla 4. Tamaño de cuña contra tamaño de flecha	78
Tabla 5. Capacidad de fuerza de tornillos de ajuste	81
Tabla 6. Propiedades de tubería de acero	99
Tabla 7. Propiedades de tubería de acero	100
Tabla 8. Dimensiones principales para el rodamiento NSK 6300	101
Tabla 9. Factor de transmisión K basado en el coeficiente de fricción, arco de contacto y tipo de tensor.	105
Tabla 10. Peso de elementos en movimiento	107
Tabla 11. Cargas sobre la estructura de la banda	119
Tabla 12. Tiempo de descarga contra diámetro de tubería	139

## LISTA DE PLANOS

		<b>Pág.</b>
1. Plano 01000.	Agitador.	180
2. Plano 01001.	Recipiente del agitador.	181
3. Plano 01002.	Eje del agitador.	182
4. Plano 01003.	Hélice.	183
5. Plano 01004.	Soporte interno eje.	184
6. Plano 02000.	Banda transportadora.	185
7. Plano 02001.	Estructura horizontal de la banda.	186
8. Plano 02002.	Estructura inclinada de la banda.	187
9. Plano 02003.	Banda colectora.	188
10. Plano 02004.	Rodillo motor y de extremo conducido.	189
11. Plano 02005.	Rodillo auxiliar.	190
12. Plano 03000.	Prensa.	191
13. Plano 03001.	Viga soporte.	192
14. Plano 03002.	Placa de presión.	193
15. Plano 03003.	Estructura de la prensa.	194
16. Plano 05001.	Mesa de transferencia.	195
17. Plano 05002.	Plano hidráulico.	196
18. Plano 05003.	Distribución de planta.	197

## LISTA DE ANEXOS

	<b>Pág.</b>
Anexo A. Manual de operación y proceso para los equipos diseñados	161
Anexo B. Eficiencia de la junta soldada	166
Anexo C. Especificaciones técnicas del motoreductor SEW R17 DT80K2	167
Anexo D. Gráfica de factor de relación longitud altura del tanque	169
Anexo E. Tabla de propiedades para aceros inoxidable	170
Anexo F. Propiedades de la banda transportadora	171
Anexo G. Especificaciones técnicas del motoreductor SEW RF67 DT 80N4	173
Anexo H. Resistencia por durabilidad para aceros	175
Anexo I. Factor de tamaños para ejes	176
Anexo J. Punto de operación bomba seleccionada	177

## RESUMEN

### **TÍTULO:**

DISEÑO DE UNA PLANTA PARA LA PRODUCCIÓN DE PAPEL ARTESANAL A PARTIR DE PAPEL DE DESECHO\*.

### **AUTOR:**

Robin Haroldo Varela Pérez\*\*

### **PALABRAS CLAVES:**

Papel, pulpa de papel, papel de desecho, fabricación artesanal de papel, equipos para elaborar papel artesanal.

### **DESCRIPCIÓN:**

El presente trabajo se desarrolló con el fin de dar solución a la necesidad existente en la Fundación Albeiro Vargas y Angeles custodios, entidad sin ánimo de lucro encargada de dar atención integral a ancianos desprotegidos y abandonados de la ciudad de Bucaramanga; la cual posee un taller para fabricación artesanal de papel a partir de papel de desecho, en el que se producen hojas de papel artesanal utilizadas en la fabricación de tarjetas para ocasiones especiales. La venta de estas tarjetas es una fuente importante de ingresos para el sostenimiento de la fundación. El requerimiento específico es el aumento de la producción de 180 hojas a 1000 hojas por día de 56X 36 cm.

Para lograr aumentar la producción y a la vez mejorar la calidad del papel que se produce en el taller, se realizó un estudio de las formas existentes para elaborar pulpa de papel y fabricación de papel, en el cual se identificaron los pasos y principales variables para elaborar papel artesanalmente utilizando papel de desecho. Posteriormente se diseñaron los equipos considerados necesarios para el requerimiento existente en la fundación y adecuados a las condiciones del área destinada para el taller, tratando de aprovechar los equipos y elementos ya existentes en el taller de la fundación.

\* Trabajo de Grado

\*\* Facultad de Ciencias Físico-Mecánicas, Escuela de Ingeniería Mecánica, Ing. Omar Gélvez A.

## SUMMARY

### **TITLE:**

DESIGN OF A PLANT FOR THE MANUFACTURING OF HANDMADE PAPER STARTING FROM WASTE PAPER\*.

### **AUTHORS:**

Robin Haroldo Varela Pérez\*\*

### **KEY WORDS:**

Paper, pulp of paper, waste paper, handmade manufacturing of paper, equipment for to make handmade paper.

### **DESCRIPTION:**

The current work was performed to find out a solution for the present requirements of the Foundation "Albeiro Vargas y Angeles Custodios", a non-profit entity in charge of taking care of the old helpless people of Bucaramanga; which has a workshop for the handmade fabrication of paper starting from waste paper, in which handmade sheets are used for the fabrication of special occasions cards. The sale of these cards is an important source of funds for the foundation's support. The specific requirement is increase of daily production in a range with in 180 to 1000 sheets of 56X36 cm.

In order to increase production and at the same time improve the quality of the paper made in the workshop, a study of the methods used to obtain paper pulp and paper fabrication, in which the steps and principal variables were identified to produce handmade paper using waste paper. Subsequently, the equipment considered as necessary for the present requirements of the foundation and adequate for the workshop area was designed, in attempt to make good use of the existing equipment and elements of the foundation's workshop.

\* Degree Project.

\*\* Physical-mechanical Engineer Faculty, Mechanical Engineering, Eng. Omar Gélvez

A.

## INTRODUCCIÓN

La Fundación Albeiro Vargas y Ángeles Custodios es una entidad sin ánimo de lucro que se encarga del cuidado y manutención de 120 ancianos desprotegidos de la ciudad de Bucaramanga. Se encuentra ubicada al norte de la ciudad y cuenta con un taller para la fabricación artesanal de papel en el que se desarrollan labores de Terapia Ocupacional recomendadas a los ancianos por los médicos tratantes. En este taller se producen hojas de papel, el cual es posteriormente empleado en la elaboración de tarjetas, las cuales son diseñadas por los ancianos, convirtiéndose en una fuente importante de ingresos que ayuda al sostenimiento económico de la Fundación.

Con el fin de cumplir con la misión institucional de la Universidad Industrial de Santander de ayudar a las comunidades más necesitadas por medio del conocimiento científico, se elabora este proyecto en el cual se diseña un taller que permitirá aumentar la producción y la calidad de las hojas de papel que se elaboran en el taller de la Fundación Albeiro Vargas y Angeles Custodios.

La producción de papel a partir de papel de desecho es una rama de la gran industria de pulpa y papel. Esta forma de elaboración de papel ofrece grandes ventajas al medio ambiente pues evita la tala de árboles y reutiliza materiales de desecho contribuyendo así a la disminución de residuos sólidos que se producen en una comunidad y afectan su ecosistema.

En este trabajo se hace una descripción de los procesos por medio de los cuales se puede elaborar papel, dándole especial relevancia a la fabricación de forma artesanal. De igual manera se diseña un taller, con todos los equipos considerados necesarios para la elaboración del papel, adecuándolos a las condiciones existentes en el taller de la Fundación Albeiro Vargas y Angeles Custodios.

## **1. EL PROYECTO.**

En la Fundación Albeiro Vargas y Angeles Custodios (FAVAC), se cuenta actualmente con un taller para la fabricación artesanal de papel a partir de papel reciclado, en el que la producción es baja en comparación con los requerimientos de la fundación. Sumado a este hecho se presenta igualmente en muchos casos el reproceso, debido a que la calidad final del papel no permite su utilización, factor éste que contribuye de manera significativa a la disminución en los volúmenes de producción.

Este taller además de permitir acciones de terapia ocupacional en personas de la tercera edad, se plantea como una forma de autofinanciamiento que contribuya a prolongar la existencia de la fundación en el tiempo. Por medio de este trabajo de grado se desea lograr:

1. Aumento en la producción de papel.
2. Disminución en los costos de producción
3. Mejoramiento de la calidad final de las hojas resultantes.

Los objetivos a desarrollar en este trabajo de grado son los siguientes:

### **1.1 OBJETIVOS DEL PROYECTO.**

- ✓ Aportar soluciones desde el campo del conocimiento técnico y científico a las necesidades de la comunidad en aras de mejorar en estas su calidad de vida cumpliendo con parte de la misión de la Universidad Industrial de Santander.

- ✓ Contribuir al mejoramiento y preservación del medio ambiente aumentando la calidad de vida de todos a través del tratamiento adecuado del papel de desecho, cumpliendo con uno de los objetivos de la Universidad Industrial de Santander.

## 1.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS.

- ✓ Diseñar una planta semiartesanal para la fabricación de 1000 hojas de papel por día de 36 X 56 cm a partir de papel de desecho, para la Fundación Albeiro Vargas y Ángeles Custodios; desde la obtención de la pulpa hasta el prensado para secado y conformación, para lo cual se deberá hacer:
  - El diseño básico de ingeniería de los siguientes equipos:
    - Picadora para Papel.
    - Un agitador para humectar el papel.
    - Un desfibrador para hacer la pulpa.
    - Una celda para destintado de la pulpa.
    - Una prensa para el secado del papel.

El diseño básico de ingeniería solo llegara hasta el dimensionamiento, análisis y síntesis no detallado de los equipos.

- La distribución de los equipos de acuerdo con la secuencia del proceso.
- ✓ Realizar el análisis de inversión y costos para el montaje y puesta en marcha de la planta diseñada.

- ✓ Elaborar un manual de operación del proceso y de las máquinas existentes en el taller de la fundación.

## **2. LA FUNDACIÓN.**

La Fundación Albeiro Vargas y Ángeles custodios, es una entidad sin ánimo de lucro, en la que se brinda a personas de la tercera edad atención integral, en especial aquellas que no poseen los recursos necesarios para su sostenimiento. Actualmente está ofreciendo esta atención a 120 ancianos provenientes en su mayoría de las calles de la ciudad de Bucaramanga en donde habitaban y deambulaban, en condiciones de desprotección y marginalidad.

Para cumplir con esta loable misión, cuenta con un grupo humano altamente comprometido y con niños colaboradores llamados “Ángeles custodios”, que brindan una gran dosis de amor y cariño, en un constante aprendizaje mutuo de valores, experiencias y conocimientos, rodeados de un ambiente natural donde el anciano recobra su sonrisa, su energía, su motivación por la vida y el trabajo.

### **2.1 MISIÓN**

La Fundación Albeiro Vargas y Ángeles custodios, tiene como misión brindar atención integral al anciano, valorándolo como persona mayor importante para la sociedad.

### **2.2 VISION.**

La Fundación Albeiro Vargas y Ángeles custodios, busca llegar a ser un centro de atención integral al anciano, caracterizado por la calidad y calidez de sus servicios, fundamentada en valores humanos y éticos, queriendo

generar un cambio de actitud en la población colombiana frente a los ancianos y así juntos lograr una Colombia renovada, permitiéndonos ser líderes en el ámbito nacional e internacional.

### 3. EL PAPEL

El papel es una estructura obtenida con base en fibras vegetales entrecruzadas e imbricadas, las cuales están unidas entre sí por medio de una acción hidrófoba que se realiza en razón a la propiedad de absorción que tienen estas fibras , a las cuales se agregan aglutinantes, cargas y otros aditivos en función del tipo de papel que se desee obtener.

Su nombre se deriva del griego “*pápyros*”, nombre de una planta egipcia (*cyperus pápyros*), de cuyo tallo los antiguos egipcios extraían láminas para escribir sobre las mismas.

El papel es un producto de uso diario, utilizado de forma masiva y muchas veces necesaria. No obstante sus beneficios, puede causar daños sobre el equilibrio de la naturaleza, ya sea en su proceso de fabricación, por no reciclarlo.

#### 3.1 HISTORIA.<sup>1</sup>

El papiro fue el precursor del papel y se hacía en Egipto desde épocas tan remotas como el año 2400 A.C. Se preparaba descortezando las fibras gruesas de la planta de papiro, dejándolas entrecruzadas sobre una superficie dura y lisa, comprimiéndolas hasta formar una hoja. La superficie se alisaba frotándola con marfil o con piedra. El pergamino se hacía de la piel de los animales.

---

<sup>1</sup> Libby C, Earl. Ciencia y tecnología sobre pulpa y papel. Tomo I: Pulpa. México: Continental, 1967. p. 10

El descubrimiento del arte de fabricar papel, según todas las probabilidades, pertenece a los chinos. No se conoce la fecha exacta de este descubrimiento, pero la mayoría de los historiadores la refieren aproximadamente al año 105 de la Era Cristiana, pues fue en dicho año que T'sai Lun, (a quien usualmente se le acredita su autoría), informó de este evento al Emperador.

Parece que los primeros papeles se hicieron, hasta cierto punto, a partir de la corteza interior de la morera del papel y, en mayor escala, a partir del bambú. La descripción del método de fabricación, que ha llegado hasta nuestros días a través de los escritos encontrados en sepulcros chinos, es por demás interesante, porque es básicamente el mismo que se emplea actualmente en la elaboración de los papeles hechos a mano, por lo que respecta a las operaciones mecánicas del formado de la hoja. Los tallos de bambú se cortaban cerca del suelo, se escogían en lotes de acuerdo con su edad, y luego se recogían en pequeños atados. Los atados se arrojaban dentro de un recipiente con cieno o lodo y agua, y se enterraban en el fango durante unas dos semanas; esto se hacía con objeto de ablandarlos. Posteriormente se sacaban, se cortaban en trozos de un largo apropiado, y se ubicaban dentro de unos morteros con un poco de agua, para machacarlos con grandes piezas de madera hasta convertirlos en pulpa. A esta masa semifluida, se le extraían las partes más gruesas, se pasaba a una gran cuba con agua, a la que se le seguía agregando material hasta que toda la masa adquiriría la consistencia suficiente para formar el papel. Entonces se extraía una hoja con un molde o marco de dimensiones adecuadas, el cual se construía con pequeñas tiras de bambú, alisadas y redondeadas como alambres; esto permitía que el agua drenara, dejando una hoja de fibras entrelazadas. A cada lado de la cuba se ubicaba un horno con un remate inclinado de arcilla. Se ponía entonces una hoja sobre el horno, quitando el borde del molde (bastidor) y dejando el papel

en forma plana sobre el horno, al cual se adhería. A continuación se quitaba la hoja que se había puesto previamente sobre el otro horno y el proceso se repetía. Los chinos establecieron una fábrica de papel en Samarkanda en algún tiempo del siglo sexto. El Asia Central, aun desde aquellas remotas épocas. estaba asolada por las guerras, los árabes capturaron la ciudad de Samarkanda en 704 y aprendieron el arte de hacer papel. Bajo la protección de los árabes, la industria floreció y Samarkanda fue reconocida por muchos años como el lugar de origen de la elaboración del papel.

Los árabes introdujeron ciertas mejoras en dicho arte, la más importante fue la sustitución de trapos de lino por fibras de madera. Es probable que este arte fuera introducido en Europa a través de los cruzados, quienes visitaron Palestina y Siria durante el siglo XII y encontraron en estos países orientales muchas artes y refinamientos por ellos ignorados.

Los moros en España manufacturaron el primer papel hecho en Europa. Ya en el año 1085 tenían una fábrica en Toledo y posteriormente otra, más famosa, en Valencia. Una importante mejora atribuida a los españoles fue el uso de molinos de agua para accionar elementos trituradores, en lugar de la energía manual usada previamente.

Alrededor de los años de 1800 de nuestra era, todo el papel que se elaboraba era hecho a mano; es decir, el deposito del material fibroso a partir de su estado acuoso, se llevaba a cabo sobre un molde de alambre o colador manipulado por el operario, llamado bastidor. Se requería habilidad para la operacion; pero, puesto que el marco o molde podía ser agitado en todas direcciones, el resultado, si el proceso se efectuaba con destreza, era un papel en el cual las fibras unidas se entrecruzaban en todos los angulos. Es a esta

circunstancia a la que el papel hecho a mano debe muchas de sus propiedades superiores, porque en el papel fabricado a máquina, el movimiento obliga a las fibras a orientarse en una dirección. Sin embargo, el papel hecho a mano no puede elaborarse más que en hojas de tamaño estrictamente limitado. Rollos de papel de unos 6 a 8 km de largo, tales como los que se emplean para los periódicos de hoy en día, eran inconcebibles para el antiguo fabricante de papel. Basados en los desarrollos de las máquinas impresoras, hacia fines del siglo XVIII se hicieron esfuerzos para superar las limitaciones de tamaño impuestas por el uso de un molde manual y para proyectar una máquina que produjera el papel en hojas o rollos de longitud prácticamente ilimitada.

El primero de estos intentos se hizo en Francia. En 1798, Louis Robert, un ayudante de impresor, inventó una máquina que haría el papel en longitudes de 12 a 15 metros. Estando en dificultades financieras, Robert vendió su patente a St. Leger Didot, dueño de una fábrica francesa. Didot, buscando la capitalización de la patente en Inglaterra, entra en contacto con Henry y Sealy Fourdrinier, dos prósperos comerciantes del papel en Londres, quienes vieron con simpatía la idea de la máquina de papel. Ellos emplearon a un hábil y competente Ingeniero llamado Bryan Donkin. Después de mucho experimentar y gastar dinero, lanzaron en 1804, una máquina para fabricación de papel verdaderamente práctica. Los hermanos Fourdrinier, quienes sufragaron el costo de las experimentaciones y gastaron toda su fortuna particular en la aventura, cayeron en bancarrota y murieron en la pobreza.

El invento de la máquina fourdrinier fue, sin duda, el mayor acontecimiento individual en la historia de la fabricación del papel. Sin éste, no hubiese

habido oportunidad para el desarrollo de la maquinaria y técnica distintiva de los siglos XIX y XX.

Actualmente Estados Unidos y Canadá son los mayores productores mundiales de papel, pulpa y productos papeleros. Finlandia, Japón, la antigua Unión Soviética y Suecia también producen cantidades significativas de pulpa de madera y papel prensa.

### **3.2 FABRICACIÓN DEL PAPEL.**

Su fabricación consta de dos procesos: la obtención de la pulpa y la elaboración del papel propiamente dicho.

#### **3.2.1 Fabricación de la pulpa.**

Actualmente la obtención de la pulpa se lleva a cabo por los siguientes métodos, los cuales dan el nombre al tipo de pulpa.

##### **◆ Pulpa Mecánica.**

El proceso para pasta mecánica es el primer proceso para obtener pulpa a partir de madera, se inventó en 1844 en Alemania. Es conocido como proceso de pasta mecánica o pasta de madera. Un alemán de apellido Keller, observó que los nidos de las avispas estaban compuestos por pequeñas fibras de madera que, entretrejidas, formaban un cuerpo burdo de papel. Por sugerencia de Keller, un fabricante de papel y maquinista práctico, llamado Voelter, construyó una máquina e inventó un proceso para convertir, por molienda madera en pulpa, el mismo que ahora se conoce como proceso Keller-Voelter.

En 1867, este proceso se introdujo en los Estados Unidos y tuvo un éxito inmediato. Los derechos americanos de patente de este proceso fueron comprados por los hermanos Pagenstecher, quienes edificaron una fábrica en Curtisville, Massachusets, e instalaron los primeros molinos en ese país.

La pasta obtenida en la trituración tiene todas las propiedades de la madera, muchas no deseables para el papel, por lo que se usa para cartones y papel prensa de corta vida.

#### ◆Pulpas Químicas<sup>2</sup>.

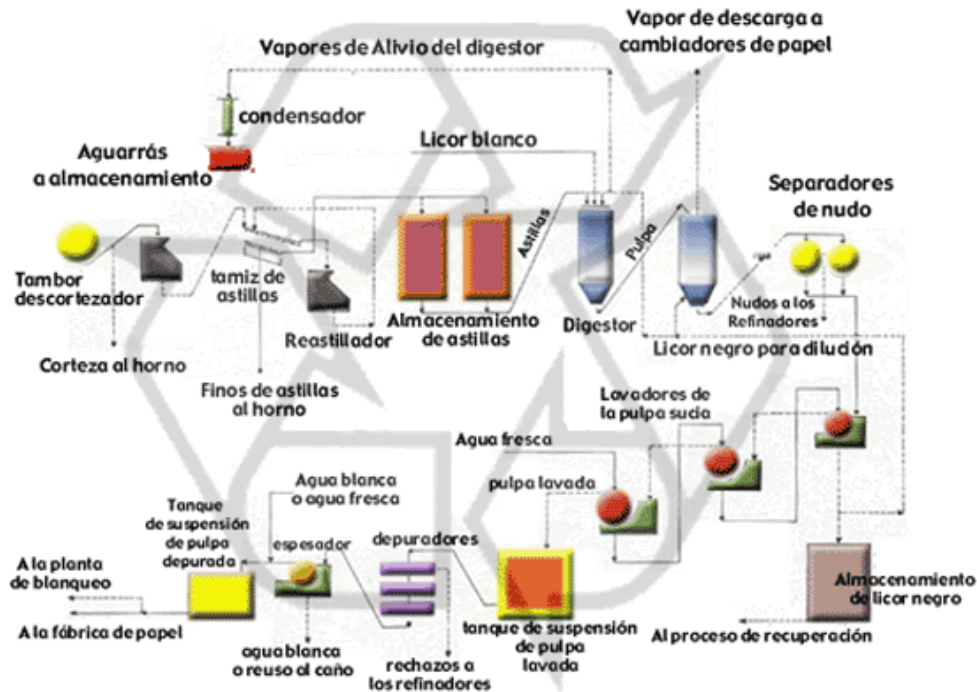
La madera o tallos son reducidos mecánicamente a astillas y luego son tratados con productos químicos apropiados. Teniendo un control de presión, tiempo y temperatura.

La acción de los productos químicos logra remover la lignina y otras impurezas, consiguiendo un aislamiento y purificación de las fibras individuales. Los productos químicos utilizados le dan el nombre al tipo de pulpa.

---

<sup>2</sup> Libby C, Earl. Ciencia y tecnología sobre pulpa y papel. Tomo I: Pulpa. México: Continental, 1967. p. 16

Figura 1. Fabricación de pulpa química.



Fuente: <http://www.cnicp.org.mx/PAPEL.html>

#### ◆ El proceso a la sosa

El primer proceso para la fabricación de pulpa química de madera fue invención de un inglés de nombre Hugh Burgess. En 1851, pudo obtener una buena pulpa por este método, el cual se describió como un "método para obtener una buena pulpa, hirviendo madera en alcalí cáustico a una temperatura alta". Este se conoce actualmente como proceso a la sosa. La pulpa a la sosa no encontró una rápida aceptación en Inglaterra, y Burgess prosiguió sus experimentos. Más tarde, en 1855, se erigieron grandes fábricas en Royer's Ford y Manayunk, Filadelfia, para la producción de pulpa por este proceso.

### ◆ El proceso al sulfito

El proceso al sulfito fue inventado por el químico norteamericano Benjamin Chew Tilgham, quien encontró que tratando la madera con soluciones de bisulfito y ácido sulfuroso, se podían obtener fibras celulósicas.

Se obtiene cocinando intensamente pequeñas partículas de madera adecuada, paja, esparto y otras plantas con intervención de ciertos agregados químicos (soda cáustica y sulfato de cal). Esta sustancia en estado químicamente puro se denomina celulosa. El rendimiento de esta materia es inferior al de la pasta mecánica, pero en cambio resulta muy superior en cuanto a calidad.

Al llevar a la práctica este proceso, la base usada fue el calcio, y se tuvieron numerosas dificultades. Un poco más tarde, y quizá de manera independiente, el químico sueco C. D. Ekman trató la madera con bisulfito de magnesio; y en 1874, en Bergvik, Suecia, construyó la primera fábrica de pulpa al sulfito. En esta instalación se utilizaron pequeños digestores rotatorios calentados indirectamente. En Alemania, el químico A. Mitscherlich estaba desarrollando un proceso utilizando un digestor cilíndrico, horizontal, estacionario, con calentamiento suministrado indirectamente por medio de vapor en serpentines hechos de plomo o cobre; el cocimiento se llevaba a cabo a temperaturas y presiones más bajas, y por periodos de tiempo más prolongados que anteriormente. La adición directa de vapor dentro del digestor, aparentemente fue practicada por primera vez en el año de 1878, por los austriacos Eugen Ritter y Carl Kellner, con objeto de lograr las ventajas del menor tiempo requerido para calentar el digestor y, por medio de esto, de un menor tiempo total de cocción. El proceso

Ritter-Kellner fue establecido en Canadá en 1885 por Governor Russel y Charles Riordon, quienes construyeron la primera planta en Merritton, Ontario. El proceso al sulfito fue introducido en los Estados Unidos por el año de 1882, por Charles S. Wheelwright, quien trabajó el proceso Ekman con digestores cilindricos rotatorios, revestidos de plomo, en una planta situada en East Providence.

#### ◆ Pulpa al sulfato

Los registros históricos indican que el origen de la industria de la pulpa kraft, o al sulfato, se debió a la ligereza de un operario de digestores, en Suecia. Por error, uno de los digestores se descargó antes de que las astillas estuviesen completamente cocidas, y cuando la madera parcialmente cocida estaba a punto de tirarse al rio, el superintendente decidió pasar las astillas por un molino kollergang con la idea de hacer un papel de inferior calidad. El resultado, sin embargo, fue un papel que sobrepasaba en resistencia a cualquier papel previamente obtenido, y la cocción incompleta llevo a ser, tiempo después, la práctica regular en muchas fábricas para la producción de un papel de envoltura que era tan resistente, en comparacion con otros papeles de envoltura, que recibió el nombre de "kraft", que en sueco y en aleman significa "fuerte".

El proceso kraft fue introducido por vez primera en America, en East Angus, Quebec, Canadá, por la Brompton Pulp and Paper Co.

Casi cualquier especie de madera puede convertirse en pulpa por el proceso al sulfato, el cual puede considerarse prácticamente un proceso universal de obtención de pulpas. Puede utilizarse con éxito para convertir en pulpa casi

cualquier madera que contenga fibras de suficiente longitud para fines de fabricación de papel. Resinas como las existentes en los pinos, todas ellas se saponifican rápidamente en el alcalí empleado (que consiste en una mezcla de hidróxido y sulfuro de sodio), en tanto que la corteza y los nudos ceden bajo su acción, la lignina se separa fácilmente, y la celulosa permanece relativamente estable.

#### ◆ Pulpa semiquímica

La obtención de pulpas semiquímicas se inició comercialmente a través del desarrollo de un proceso para utilizar como subproducto ciertas astillas de maderas duras.

Se obtiene por un procedimiento que consta de dos partes, durante las cuales la madera, generalmente en virutas, se le debilitan los enlaces de las fibras por medios químicos y después se refina mecánicamente. Esta pasta contiene gran cantidad de impurezas o materias leñosas y se utiliza esencialmente para la fabricación de papel de mediana calidad. Puede ser blanqueada o sin blanquear.

La idea de la pulpa semiquímica, aparentemente fue expresada primero por Mitscherlich, en 1874, en un proceso que implicaba el ablandamiento de las astillas de madera con ácido sulfuroso o bisulfito, seguido por fricción o molienda para convertirlas en pulpa. Un poco después, en 1880, C. F. Cross reportó el uso de sulfito de sodio para la obtención de pulpa. Este reactivo tuvo algún éxito comercial en la década de 1920 para producir pulpas resistentes, de colores ligeros, a partir de maderas duras y de maderas suaves, pero los problemas de la recuperación del reactivo y de corrosión del equipo

no pudieron ser resueltos en aquel tiempo. El desarrollo de la obtención de pulpas semiquímicas, para las que el sulfito de sodio ha resultado ser particularmente adecuado, ha hecho que este producto químico sea actualmente importante.

#### ◆ **Pulpa de Papeles usados.**

Para la obtención de ésta como su nombre lo indica, se utilizan papeles usados los cuales deben pasar por un proceso de selección y tratamientos adecuados para la elaboración de una nueva hoja de papel.

Debido a que el papel usado proviene de diferentes partes, esta pulpa está compuesta por los anteriores tipos de pulpa en diferentes proporciones.

Básicamente lo que se realiza es la disgregación de las hojas de papel en fibras vegetales individuales.

La preparación de la pulpa a partir del papel usado consta de varias etapas:

1. Clasificación de la materia prima.
2. Desfibrado.
3. Destintado.
4. Limpieza.

#### ◆ **La clasificación de la materia prima.**

Se realiza dependiendo de la forma de fabricación del papel que se vaya a aplicar. Si es industrial, las empresas compran el papel en fardos de varias

toneladas, previamente clasificado por cooperativas de recicladores dedicadas a esta labor; si se va a fabricar artesanalmente o a mano las cantidades de papel a producir son menores que cuando es industrial y por ende las cantidades de materia prima también, la clasificación de ésta se realiza a mano por medio de inspección visual. Durante este proceso el papel es liberado de todo tipo de impurezas que deterioran su calidad.

◆ El desfibrado.

Es la transformación del papel en pulpa por medio de acciones mecánicas y químicas con las cuales se rompen los enlaces existentes entre las fibras que lo conforman.

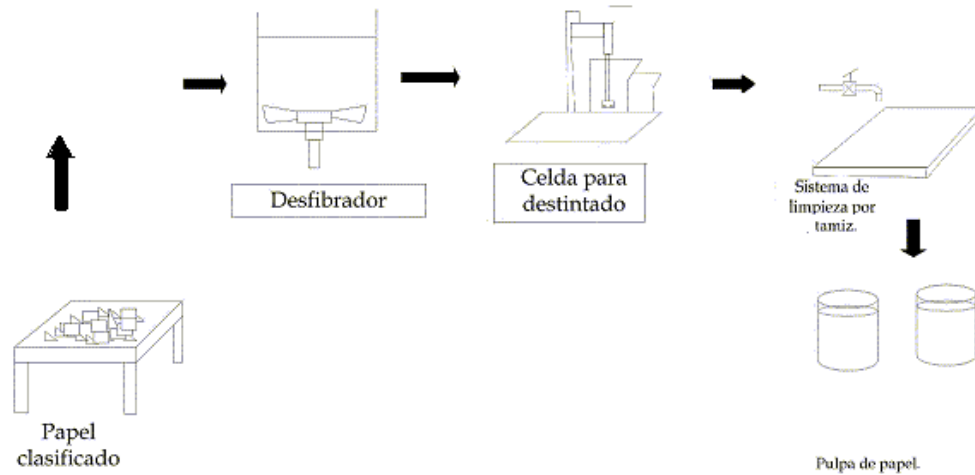
◆ El destintado.

El proceso más utilizado es el de flotación en el cual la tinta es removida de las fibras por unas acciones mecánicas y químicas.

◆ La limpieza

Es la etapa final de la preparación de la pulpa en esta se le quitan la impurezas que debido a su tamaño no fueron extraídas por la flotación en el proceso de destintado.

Figura 2. Fabricación de pulpa de papeles usados.



La fabricación de pulpa de papeles usados es el proceso que menos contamina el medio ambiente, pues los reactivos que se utilizan para el desprendimiento de la fibras son menos fuertes que los de los procesos químicos o semiquímicos pues las fibras tienen uniones menos fuertes que cuando están en la madera.

Tabla 1. Comparación de las necesidades de energía de acuerdo a tipo de pulpa producida.

Método de producción. (Tonelada de papel)	Consumo de Energía	Consumo de agua
Por medios mecánicos.	1200 Kw.-h.	15 a 40 Toneladas
Por medios químicos	700 Kw-h.	100 a 200 Toneladas
De papel recuperado	400 Kw-h.	38 a 150 Toneladas

Fuente: <http://www.quetequieroverde.com/sobrepapelybosqueshtm>

Además de los valores de energía y agua que consume la producción de una tonelada de papel nuevo se necesitan 3.8 m<sup>3</sup> de madera, la cual se obtiene de 12 a 14 árboles de más de 20 años. También por cada tonelada de papel recuperado se obtiene la misma cantidad de fibras celulósicas que a partir de 4 m<sup>3</sup> de madera, las materias en suspensión en las aguas residuales son inferiores a un 25 %, la contaminación atmosférica es inferior en un 73 % y los residuos sólidos producidos se ven reducidos en un 40%.

De acuerdo con los datos anteriores se puede afirmar entonces que el reciclaje de papel no sólo evita la tala de árboles, sino que, además, ahorra agua y energía y disminuye la contaminación ambiental.

### **3.2.2 Fabricación de la hoja de papel.**

Una vez obtenida la pulpa de papel, independiente del proceso que se utilice se procede a la fabricación de la nueva hoja. A partir de este punto es donde comienza la fabricación de papel propiamente dicha.

Existen actualmente dos formas para elaborar papel.

- ◆ Fabricación de papel industrial o a máquina.
- ◆ Fabricación de papel artesanal o a mano.

En la fabricación industrial se utiliza la máquina inventada por los hermanos Fourdrinier y en el proceso artesanal se utiliza el sistema tina bastidor. Estos dos procesos se explicarán con mayor detalle a continuación.

### ◆ Fabricación Artesanal de Papel.

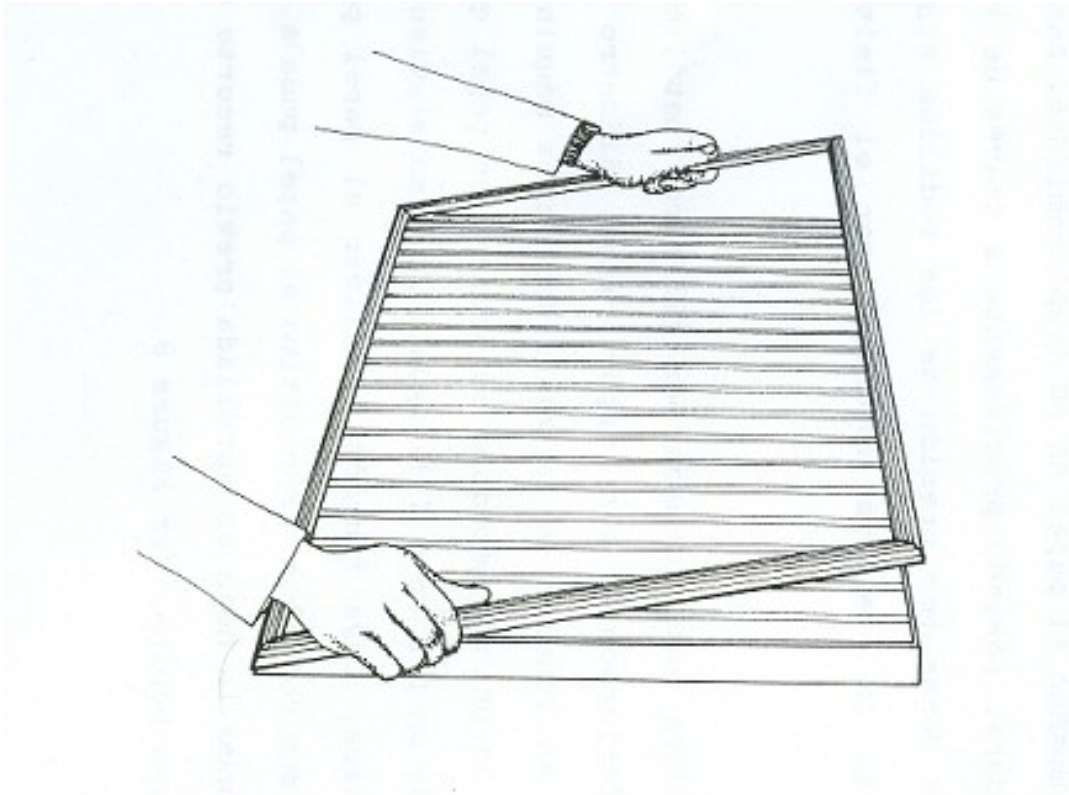
En este procedimiento se emplea un marco de madera con fondo de tela metálica de bronce u otro material, muy fina y bien tirante, rodeado de otro que sobresale por los bordes, conocido como bastidor.

El proceso consiste básicamente en las siguientes operaciones:

1. Agitar la pulpa para promover la homogeneidad de esta.
2. Sumergir el molde en la pulpa.
3. Levantar el molde.
4. Dejar escurrir el exceso de agua.
5. Descargar la nueva hoja en un fieltro.
6. Prensar la hoja
7. Secado.

Al sumergir el marco en la pulpa acuosa y levantarlo agitando para que se produzca el entrelazado de las fibras en suspensión, quedará sobre él una capa, cuyo espesor dependerá de la altura del reborde, que desague rápidamente a través de la tela del fondo. Entonces se oprime el cedazo contra un fieltro humedecido para que la hoja de papel quede adherida a él, se cubre con otro fieltro sobre el cual se deposita una nueva hoja de papel y así sucesivamente hasta formar una pila de hojas, que se comprimen en la prensa en la que se permite un mayor entrecruzamiento de las fibras y un secado parcial de la hoja. Las hojas de papel se despegan luego de los fieltros y se ponen a secar, ya sea al aire libre o en un horno adecuado para el proceso.

Figura 3. Bastidor par fabricar papel a mano.

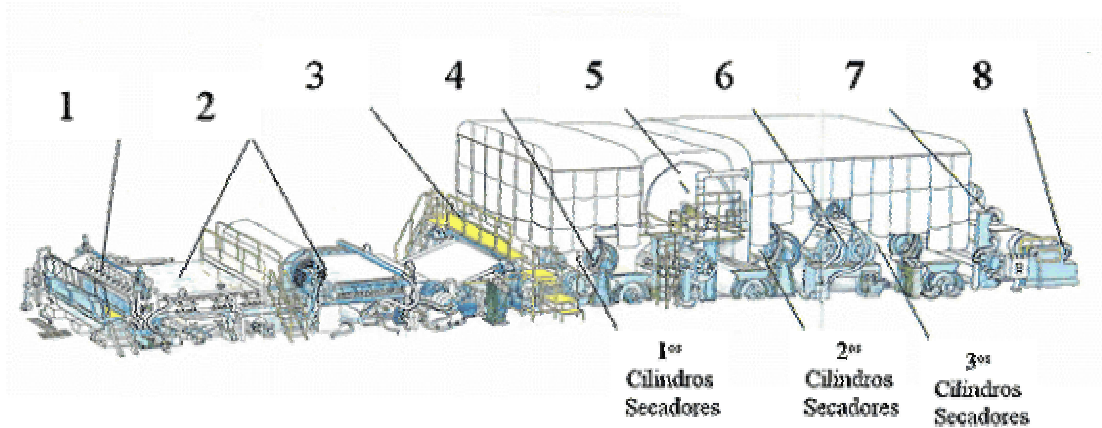


Fuente: CRUZ C Robert y PEREA S. Ana. Diseño Preliminar de una planta piloto para la producción de papel a partir de papel de desecho. Bucaramanga 1993. Universidad Industrial de Santander. p 59.

### ◆ **Fabricación Industrial de Papel.**

En la siguiente figura, se puede ver el proceso para la fabricación de papel industrialmente:

Figura 4. Fabricación Industrial del Papel.



Fuente: [http://www.ceamse.gov.ar/recicla\\_abc\\_papel.html](http://www.ceamse.gov.ar/recicla_abc_papel.html)

1. Cajón de entrada. 2. Tela. 3. Prensas Secadoras. 4. Cilindros Secadores. 5. Monolúcido. 6. Prensa Encoladora. 7. Lisa. 8. Bobinadora.

Las fibras necesarias para fabricar el papel se mezclan en las proporciones requeridas en una gran cuba llamada pulper, que actúa como una juguera que forma una pasta acuosa que contiene las fibras (1). Esta pasta cae luego sobre una tela móvil o fourdrinier (2) donde se produce el entrecruzamiento de las fibras. A medida que la tela avanza, se va drenando el contenido de agua de la pasta, quedando sobre la tela una película de fibras húmedas que constituyen la hoja de papel. A continuación la hoja de papel pasa por prensas (3) que la estrujan y posteriormente a través de cilindros secadores (4) calentados con vapor que terminan de secarla.

Algunos papeles, llamados monolúcidos, pasan por un solo gran cilindro (5), que tiene la particularidad de dejar el papel más terso y brillante por la cara que queda en contacto con el cilindro. En la práctica pueden combinarse cilindros normales con un cilindro monolúcido.

Para los papeles o cartulinas que serán destinados a usos en los que la impresión es muy importante, se requiere una superficie muy tersa y brillante. Esto se logra aplicando una fina capa de pintura que permite obtener papeles o cartulinas estucadas. Por último, el papel o cartulina es rebobinado (8) en la parte final de la máquina, quedando un rollo.

Los rollos de papel que se producen actualmente en el país<sup>3</sup> tienen dimensiones de 3.56 m. de ancho y un diámetro que puede variar entre 1.5 y 2.0 m, los cuales son usados de este tamaño o cortados y convertidos a resmas de diversos tamaños.

En la siguiente figura se pueden ver los rollos formados a la salida de la máquina de papel.

---

<sup>3</sup> [http://www.papelesnacionales.com.co/Proceso de Producción.htm](http://www.papelesnacionales.com.co/Proceso%20de%20Producci3n.htm)

Figura 5. Rollos de papel fabricado industrialmente.



Fuente: <http://www.papelesnacionales.com.co/Proceso de Producción.htm>

Para seleccionar cual proceso será el adecuado para la fabricación de papel se deben tener en cuenta los siguientes criterios:

◆ **Niveles de producción deseados.**

La cantidad de papel que puede fabricar una persona varía según el tamaño de la hoja a fabricar, siendo del orden de 300 a 600<sup>4</sup>. La fabricación artesanal era efectuada hasta principios del siglo XIX, necesitaba mucha mano de obra, pero un buen número de operarios podían hacer de 4000 a 5000 hojas por día<sup>4</sup>.

---

<sup>4</sup> NARITA Kiyofusa. Técnicas empleadas en el Japón para la fabricación de papel a mano. En: Investigación y técnica del papel. Madrid. Tomo 9. Numero 34 Octubre de 1972. Madrid p. 1065.

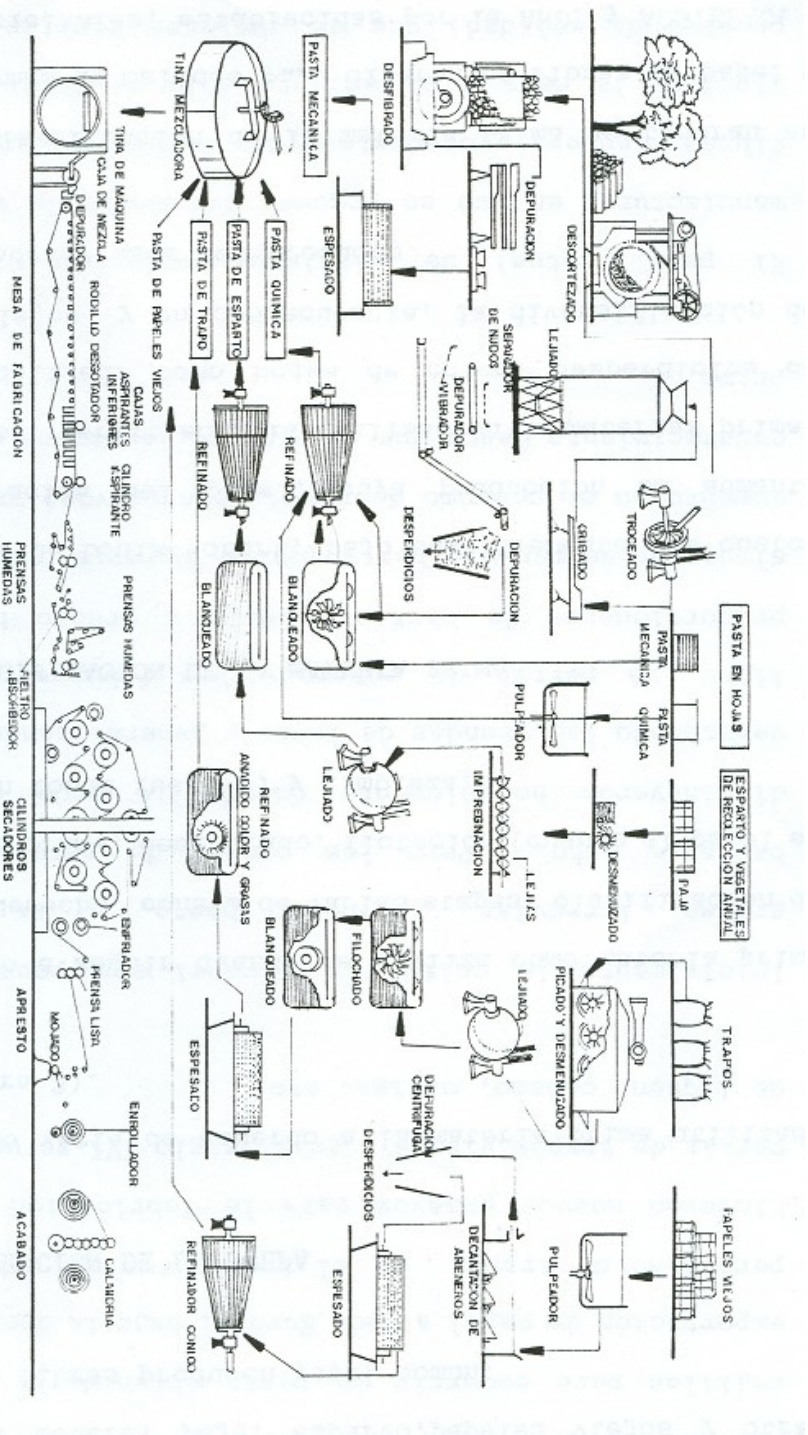
### ◆Calidad del papel deseado.

La calidad del papel fabricado a mano es muy superior a la del papel fabricado industrialmente, este tipo de papel se utiliza para aplicaciones de gran lujo<sup>5</sup> , como tarjetas para ocasiones especiales y también cuando se elaboren hojas de gramajes mayores a 150 gr/m<sup>2</sup>.<sup>3</sup>

---

<sup>5</sup> CRUZ C Robert y PEREA S. Ana. Diseño Preliminar de una planta piloto para la producción de papel a partir de papel de desecho. Bucaramanga 1993. Universidad Industrial de Santander. p 38.

Figura 6. Esquema de fabricación de pulpa de papel y de papel industrialmente.



Fuente: CRUZ C Robert y PEREA S. Ana. Diseño Preliminar de una planta piloto para la producción de papel a partir de desecho. Bucaramanga 1993. Universidad Industrial de Santander. p 38.

## **4. FABRICACIÓN ARTESANAL DE PAPEL A PARTIR DE PAPEL DE DESECHO.**

La fabricación artesanal de papel a partir de papel de desecho, como se mencionó anteriormente, utiliza básicamente pulpa obtenida a partir de papeles usados. El papel utilizado para éste proceso debe ser clasificado, desfibrado, lavado, conformado y secado. Cada uno de estos procesos se describirá más adelante.

### **4.1 EL PAPEL DE DESECHO.**

También conocido como papel reciclado. Es de anotar aquí que reciclar significa “volver a usar”, por lo tanto el que realmente es papel reciclado es el que se produce con papel ya usado o de desecho. Cabe resaltar en este punto que no todos los papeles de desecho son utilizados como materia prima para el procesos de producción de papel, pues existen papeles de desecho como el papel higiénico que por sus función es inconcebible su reutilización como materia prima para este proceso. Entre las principales fuentes de papel de desperdicio se encuentran las tipografías, en donde se producen muchos recortes, las oficinas, las fotocopiadoras, etc. Este papel debe ser clasificado, para lo cual la ACOTEPAC (Asociación Colombiana de técnicos en papel y celulosa) y la ANDI (Asociación Nacional de Industriales) han publicado normas utilizadas cuando se trata de papel para fabricación industrial. La clasificación también es muy importante en la fabricación artesanal de papel, ya que es este proceso uno de los que mayor incidencia tiene en la calidad final de la hoja.

## 4.2 CLASIFICACIÓN DEL PAPEL DE DESECHO PARA LA FABRICACIÓN ARTESANAL.

Para clasificar el papel se utiliza la inspección visual, lo que se busca con esto es evitar que materiales nocivos y cuerpos extraños se introduzcan al proceso de elaboración del papel. Los materiales nocivos que se evitan introducir al proceso de son:

Papeles con alquitrán.

Papeles impregnados de negro de humo.

Papeles impregnados de parafina.

Papeles revestidos de plástico.

Papeles impregnados de grasa, manteca, aceite.

Papel carbón.

Papeles encerados.

Papeles con satinados plásticos, de cera, aluminio, barniz o laca.

Papel de fotografía.

Papeles adhesivos con lama de tela o plástico.

Papeles o cintas con adhesivos no solubles en agua

Los materiales mencionados anteriormente son elaborados con sustancias que no desfibran en agua, motivo por el cual disminuyen la calidad final de las nuevas hojas, apareciendo en estas en formas de pecas o manchas.

Con la clasificación también se le extraen al papel cuerpos extraños, que puede traer el papel, entre estos se pueden mencionar: ganchos de grapado, cuerdas de todo tipo, desechos de comida, plásticos, los cuales además de tener el efecto perjudicial de los materiales nocivos pueden causar daños a los elementos utilizados en la fabricación del papel.

### **4.3 PESAJE DEL PAPEL.**

El paso siguiente a la clasificación propuesto en este proyecto, es el pesaje del papel ya clasificado y luego su posterior empaque en bolsas de acuerdo al peso. Esta etapa se justifica en la medida en que se quieran guardar las proporciones adecuadas en la elaboración de la pulpa de papel. Para cumplir con estas proporciones se define más adelante la consistencia del papel la cuales una relación entre el peso del papel y peso del agua que se le adicione, además permite proyectar la producción de nuevas hojas.

### **4.4 DESFIBRADO DEL PAPEL.**

Posterior del pesaje se procede con el desfibrado, en el cual el papel es sometido a una acción físico-química, en presencia de agua, con el fin de separar los enlaces fibra-fibra, por medio de agitación fuerte ayudada por el empleo de reactivos.

El desfibrado también facilita el desprendimiento de la tinta que se encuentra adherida a las fibras.

Los reactivos utilizados en el proceso de desfibrado son conocidos como colectores Estas sustancias tienen como función repeler el agua, por parte de las partículas de tinta una vez estas hayan sido separadas de las fibras.

Los colectores son cadenas carbonadas largas de entre 10 y 20 átomos de carbono cuyos extremos son de carácter polar opuestos, de tal modo que un extremo sea afín al agua (no polar). Sustancias con estas características son los detergentes y jabones.

Las colas de los jabones al igual que las de los detergentes son no polares, insolubles en agua, mientras que las cabezas son polares debido a sus enlaces de tipo iónico.

Las moléculas del colector rodean las partículas de la tinta, exhibiendo un carácter hidrófobo.

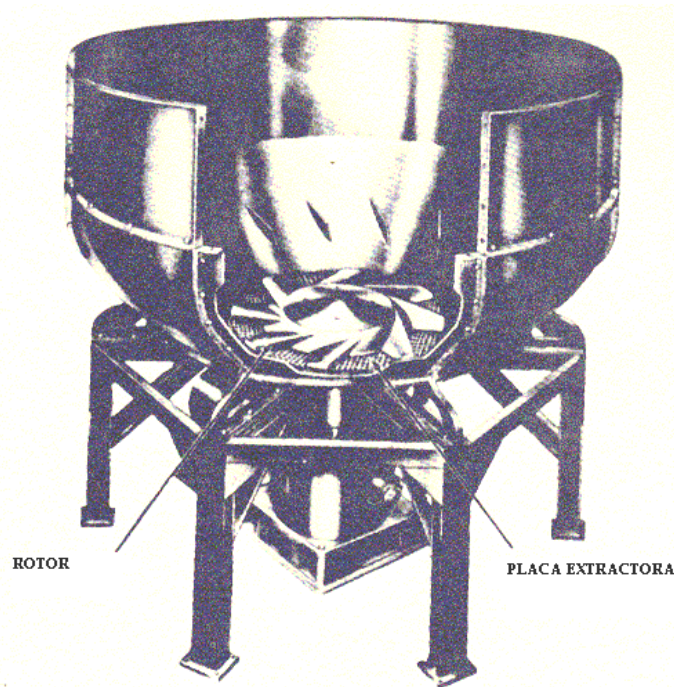
Los detergentes más utilizados son los de tipo aniónico, los cuales en solución acuosa son eléctricamente negativos.

Cuando un detergente es utilizado como colector, su gran efectividad se puede aumentar añadiendo un compuesto químico que favorezca la penetración hasta la superficie fibrosa, es decir que sea humectante.

La utilización de este compuesto es opcional, además depende del grado de blancura que se requiera en la pulpa destintada. El agente de blanqueo utilizado en la etapa de desfibrado es el peróxido de hidrógeno ( $H_2O_2$ ).

En la siguiente figura se puede apreciar el esquema de un desfibrador, el medio que imparte la acción mecánica es el rotor o hélice, la placa extractora se utiliza para extraer materiales pequeños de la pulpa en agitación. Este tipo de desfibradores es muy usado en procesos de fabricación industrial a gran escala.

Figura 7. Desfibrador.



Fuente: Celulose e papel, Volume I, Tecnologia de fabricacao da pasta celuloseica, Sao Paulo, Ediciones IPT, 1988.

Para obtener un buen desfibrado, una de las condiciones que se debe tener en cuenta en el diseño del agitador, es que las cuchillas o aletas que componen el rotor no deben girar a una velocidad muy alta, con el fin de no disminuir en exceso la longitud de la fibra, lo cual afectaría la capacidad de unión entre estas en el proceso de conformado.

#### **4.5 DESTINTADO DEL PAPEL.**

El aspecto básico del destintado es el de separar las fibras de la tinta, mediante una acción químico-mecánica a temperatura y consistencias controladas. De acuerdo con el proceso de eliminación, se requiere la

presencia de productos químicos que dispersen (lavado) o aglutinen (flotación) los pigmentos de la tinta.<sup>6</sup>

◆ El proceso de lavado.

Se fundamenta en una acción mecánica de eliminación de los componentes de la tinta y cargas minerales del papel; puede operar en rangos muy amplios de consistencia y condiciones de operación, empleando distintos equipos. El lavado se emplea cuando hay tintas dispersables o cuando se necesita disminuir sustancialmente las cenizas.

◆ El destintado por flotación.

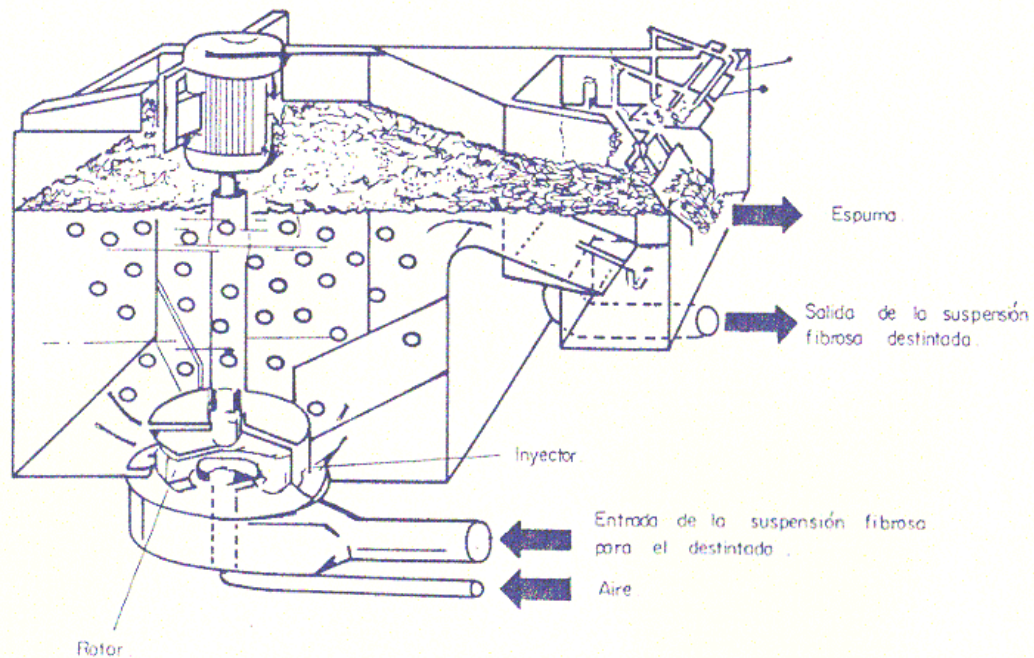
Es un proceso químico-mecánico, para eliminar partículas de tinta mediante la flotación de burbujas de aire. Es relativamente complejo, pues comprende una mezcla de agua tinta, fibras, cargas minerales en suspensión y los factores de operación del equipo. Las partículas de tinta y un pequeño porcentaje de fibras se eliminan con la espuma. Este es el proceso más utilizado en la remoción de tintas en papel de desecho al presentar ventajas en cuanto a cantidad de agua necesaria, ofrece un mayor rendimiento y el efluente de este producto como es la espuma es más fáciles de tratar para evitar daño ecológico.

---

<sup>6</sup> GARCÍA L. Jorge A.. Aplicación del proceso del destintado por flotación para la obtención de pulpa a partir de papel impreso con tonos fuertes. Bucaramanga: Universidad Industrial de Santander, 1985. p 56

En este proyecto, el proceso a utilizar para el destintado de papel es el de destintado por flotación, adecuándolo a los requerimientos y condiciones del taller de la Fundación.

Figura 8. Celda de flotación tradicional.



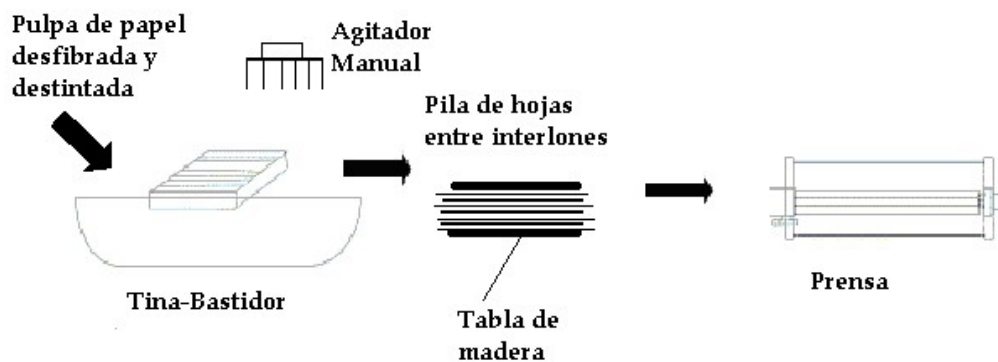
Fuente: GARCÍA L. Jorge A.. Aplicación del proceso del destintado por flotación para la obtención de pulpa a partir de papel impreso con tonos fuertes. Bucaramanga: Universidad Industrial de Santander, 1985. p 25

#### 4.6 CONFORMACIÓN DEL PAPEL.

En esta fase del proceso el papel ya ha sido transformado en pulpa y destintado; las condiciones a las que debe llegar esta pulpa se especificaran más adelante, paso siguiente es la conformación de la nueva hoja. En la fabricación manual el sistema y los instrumentos son muy similares a los

utilizados desde la primera vez que se fabricó papel en la China. El sistema es conocido como tina-tamiz y los instrumentos principales que se necesitan son: la tina, el agitador manual, el molde, la forma, los interlones y las tablas para llevar a la prensa.

Figura 9. Conformación de la hoja.



La tina es un recipiente rectangular. Su tamaño varía según el tamaño de la hoja de papel a fabricar. El agitador manual es similar a un peine pero de tamaño adecuado, su función es agitar la pulpa que esta en la tina. El molde y la forma son unos marcos rectangulares sencillos del mismo tamaño, el molde tiene una malla que lo recubre y la forma no tiene ninguna malla. Ambos constituyen un tamiz sencillo, entre en el cual se coloca un interlon donde quedara la nueva hoja. Estas nuevas hojas son apiladas colocando entre ellas un interlon el cual evitará que se unan y facilitará el drenaje de agua. Esta pila de hojas es puesta entre dos tablas y se lleva a la prensa.

#### **4.7 PRENSADO.**

Las nuevas hojas apiladas entre tablas son llevadas a la prensa en donde por una acción mecánica se exprimen y se ayuda al nuevo enlace entre las fibras. En la fabricación industrial de papel en donde se utilizan prensas de variados diseños los valores de presión varían<sup>7</sup> de 5 Kg/cm<sup>2</sup> a 50 Kg/cm<sup>2</sup>. Lo ideal en la fabricación artesanal sería poder llegar a estos niveles de presión. Aunque en la fabricación artesanal de papel si las hojas se prensan muy fuerte y rápido, se adhieren tan fuertemente que es difícil separarlas; por lo que, el prensado debe hacerse en forma gradual. Por otra parte si se prensa demasiado ligero, quedará demasiada agua en las hojas, lo que podría perjudicar el papel. La ventaja que brinda el empleo del interlón entre las hojas es su fácil separación después de prensadas.

#### **4.8 SECADO.**

Después de haber disminuido la cantidad de agua en la hoja por medio del prensado, las hojas se retiran una por una y son puestas al aire libre para su secado protegidas del sol, también existe la posibilidad, de utilizar un horno adecuado para el secado de las hojas con el que se evita la dependencia de las condiciones del clima para el secado de las mismas.

---

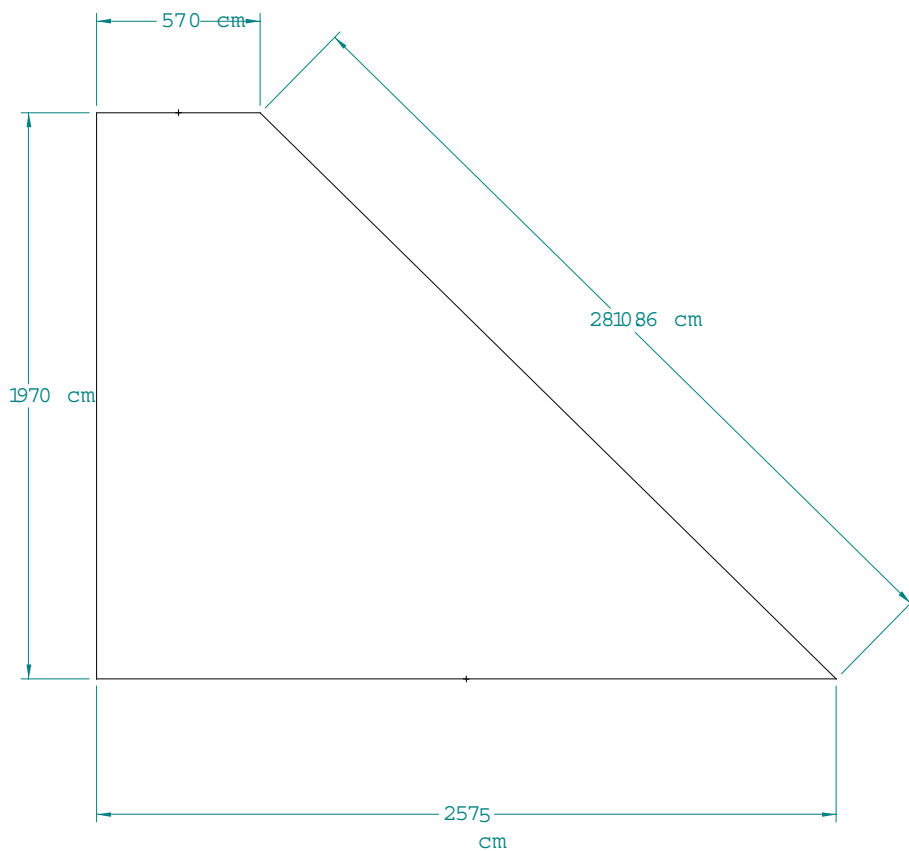
<sup>7</sup>LAURENT Louis. Las Prensas de alta sequedad. En: Investigación y técnica del papel. Madrid. Tomo 8 Octubre de 1972 Numero 34: P 369.

## 5. DISEÑO DEL TALLER PARA LA FABRICACIÓN SEMIARTESANAL DE PAPEL

El diseño del taller se realizará para una producción de 1000 hojas de papel de 56 X36 cm por día, adaptándose a las condiciones existentes en la Fundación Albeiro Vargas y Angeles Custodios.

### 5.1 ÁREA MÁXIMA DISPONIBLE PARA EL TALLER DE PAPEL

Figura 10. Área máxima disponible para el taller de papel de la fundación Albeiro Vargas y Angeles custodios.



Con las medidas de la figura 3 se calcula el área máxima disponible para el taller:

$$3'097.825 \text{ cm}^2 = 309.7825 \text{ m}^2.$$

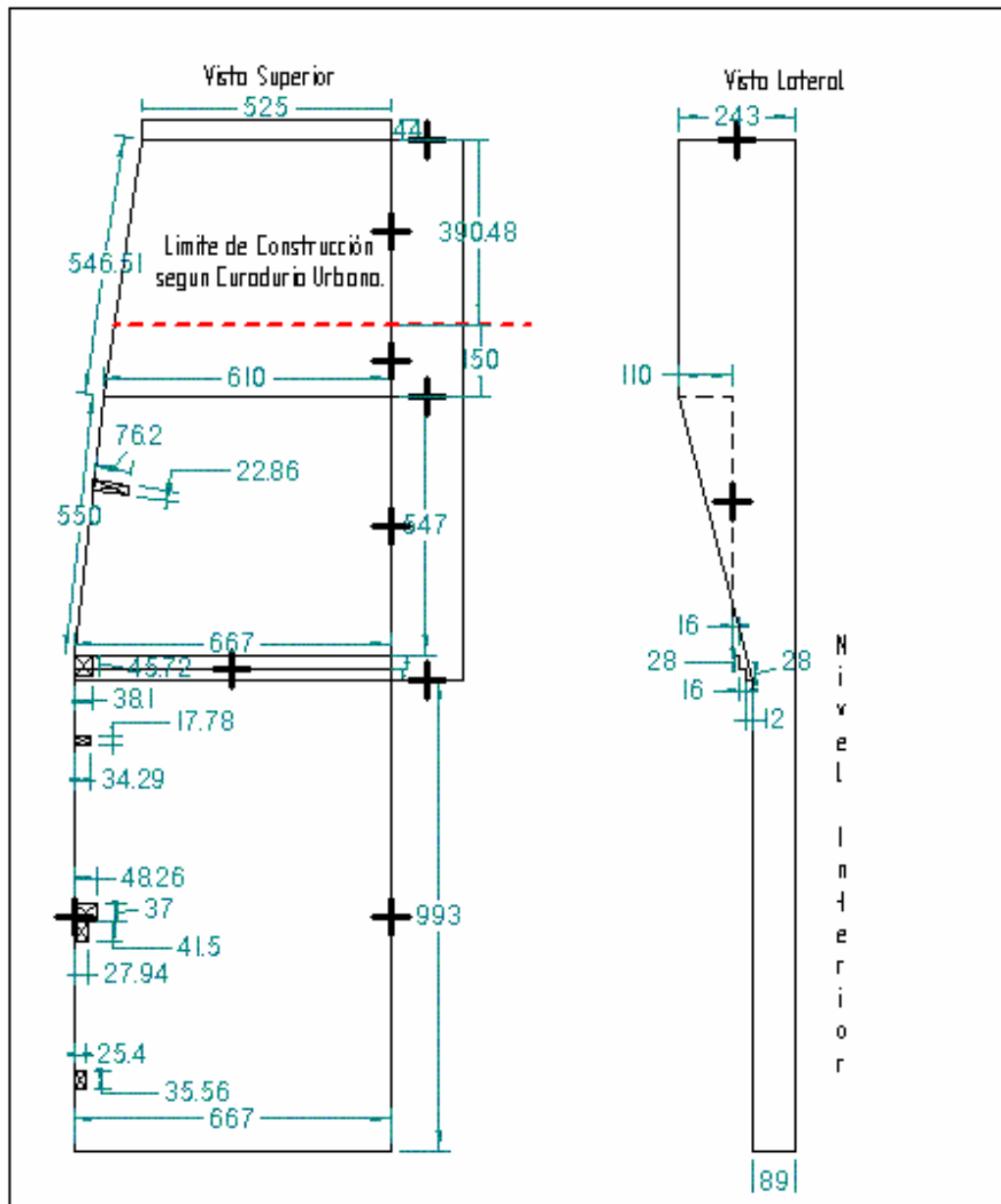
Para el cálculo de esta área se consideraron todas las observaciones realizadas por la Curaduría Urbana de Bucaramanga en su Concepto de Normas Urbanísticas N° U000097P expedido el 14 de Diciembre de 2001.

Después de realizado este cálculo, se procede a la medición y determinación del área techada y pavimentada existente y disponible para ser utilizada en el diseño del taller; aquí se calcularon dos áreas una respetando el límite expedido por la Curaduría Urbana y otra, teniendo en cuenta el área actualmente construida.

**♦ Área techada y pavimentada disponible para el taller de papel. (Medidas en cm).**

En la siguiente figura se pueden observar las dimensiones del área disponible.

Figura 11. Plano del taller pavimentado y techado actualmente.



Con las dimensiones anteriores se calculan los dos valores posibles para el área del taller, como ya se menciona anteriormente un primer valor se calculó teniendo en cuenta el área actualmente construida y el segundo valor

cumpliendo las observaciones realizadas por la Curaduría Urbana de Bucaramanga. Los valores correspondientes para estas áreas son:

Área Construida: 134.91 m<sup>2</sup>

Área construida de acuerdo con observaciones de La Curaduría Urbana de Bucaramanga 113.27 m<sup>2</sup>.

## **5.2 EQUIPOS EXISTENTES EN EL TALLER DE LA FUNDACIÓN ALBEIRO VARGAS Y ANGELES CUSTODIOS.**

La fabricación de papel en el taller de la Fundación Albeiro Vargas y Angeles Custodios (FAVAC), se hace de manera artesanal; para esto se cuenta con tres personas que elaboran el papel desde la fase de picado hasta la fase de secado, estas personas laborando en promedio 8 horas al día producen 180 hojas de papel de 56x36 cm. En la siguiente tabla se muestran los equipos y accesorios existentes en el taller y se especifica cuales se modificaran. Además de los equipos a diseñar de la tabla en este proyecto se incluirán los equipos que no existan en el taller. y que sean necesarios para alcanzar el nivel de producción deseado.

Tabla 2. Equipos y accesorios existentes en el taller.

<b>Equipo o elemento</b>	<b>Función</b>	<b>Cambia</b>	<b>A diseñar.</b>
Balanza de 20 libras	Pesaje del papel	No	No
Licuada de 7 Litros	Desfibrar	Si	Si
Seis tanques de 125 litros	Almacena- miento	No	No
Tres tinas rectangulares de 213 litros de capacidad.	Alojar la pulpa	No	No
Ocho bastidores de 58 x 38.5 cm	conformar la hoja	Si	No
Seis mesas de 76 cm de altura por 80 cm de ancho por 135 cm de largo.	Soporte de las tinas.	No	No
Sesenta interlones para í.	Separar las hojas entre s	No	No
Cuatro tablas de 58 x 38 cm para llevar el papel a la prensa.		No	No
Cuatro alfombras de 60x40 cm para absorber agua en el proceso de prensado.		No	No
♦ Una prensa manual	Prensado	Si	Si
♦ Una mesa con superficie de aluminio de 82 cm de altura por 90 cm de ancho por 200 cm de largo, en donde se	Desmolde de los bastidores.	No	No
Un armario de 3 divisiones de 70 de ancho por 100 cm de largo por 200 cm de altura	Almacenaje del encolante y otros aditivos para el papel	No	No
Una calandria	mejorar la textura al papel	No	No
Quinientos ganchos.	Tender las hojas para que se sequen.	No	No

### **5.3 IDENTIFICACION DE LAS VARIABLES MÁS IMPORTANTES EN EL PROCESO DE PRODUCCIÓN DE PAPEL.**

En el proceso de fabricación de papel se consideran muchas variables en general todas muy importantes. En este punto se identificarán y analizarán las variables que más inciden sobre la cantidad y calidad de la producción debido a los objetivos propuestos en este trabajo de aumentar producción y mejorar calidad.

Entre las variables a estudiar se tienen:

#### **5.3.1 Consistencia.**

Es el porcentaje en peso, de fibra en cualquier combinación de fibra agua. Esta debe favorecer tanto la acción química como la acción mecánica.

La consistencia<sup>8</sup> se considera baja entre un 5% y un 8% y alta hasta un 40%.

La ecuación para definir la consistencia es:

$$C = \frac{\text{Peso de la fibra}}{\text{Peso de la fibra} + \text{Peso agua}}$$

#### **5.3.2 El color del papel de desecho.**

Esta es una variable muy importante en la calidad final del papel pues para poder elaborar un papel con un determinado color final, usualmente blanco, es necesaria su clasificación en colores y de acuerdo con éstos se obtendrá el color del producto final. En este punto se debe resaltar que cuando se refiere

---

<sup>8</sup> CRUZ C Robert y PEREA S. Ana. Diseño Preliminar de una planta piloto para la producción de papel a partir de papel de desecho. Bucaramanga 1993. Universidad Industrial de Santander. p 142.

a color del papel se esta indicando el color base de la hoja no el de las figura o escritos que sobre este se hubiesen realizado.

### **5.3.3 El tamaño de las hojas de papel de desecho**

Esta variable tiene influencia tanto en cantidad, de forma directa, como en la calidad del producto final. La influencia en la calidad del papel es que se debe determinar un tamaño mínimo, con el fin de que puedan humectarse rápidamente como también después de esta humectación dejarse transformar en pulpa por medio de la acción mecánica de pulpeo o desfibración.

### **5.3.4 El tiempo para la humectación del papel.**

Es de gran importancia ya que la fase de humectación del papel en el proceso de fabricación es una fase necesaria para poder luego convertir el papel en pulpa.

### **5.3.5 El tiempo para el conformado de la pulpa.**

Es el tiempo de transformación del papel ya humedecido en pulpa. Esta es la parte más importante del proceso ya que aquí se afecta directamente el tamaño de las fibras que posteriormente conformarán el papel; este tiempo esta directamente relacionado con el volumen de la máquina que realiza esta función, pues entre mayor sea el volumen de la máquina mayor será el tiempo necesario para conformar la pulpa pero igualmente será mayor la cantidad de pulpa elaborada.

### **5.3.6 La temperatura del agua de humectación y conformado de la pulpa.**

La temperatura del agua para el conformado del papel en general es muy importante pues si es muy baja el poder de humectación del agua se reduce,

lo que aumenta directamente el tiempo de humectación y por ende atrasa el proceso de producción. De la literatura consultada para la elaboración de este proyecto se obtiene que la temperatura ideal<sup>9</sup> para la humectación del papel sea de máximo 45°C.

### **5.3.7 El tipo de agitador e impulsor para convertir el papel en pulpa.**

Con respecto a los agitadores se pueden tener de diversas geometrías tamaños y formas, los más utilizados en los procesos de mezclado para pulpa y papel son los verticales aun que se han obtenidos óptimos resultados con agitadores de tipo horizontal.

El impulsor es el medio físico por medio del cual se le trasmite potencia desde una fuente hasta la pulpa con el fin de agitarla, conocido como impulsor. Existen dos grupos principales de impulsores los de tipo axial y radial, esta clasificación se de acuerdo con el patrón de flujo que generan en el medio a agitar.

## **5.4 CANTIDAD DE PAPEL Y AGUA LA FABRICACIÓN ARTESANAL DE 1000 HOJAS DE PAPEL DE 56X36 CM.**

Para la elaboración de papel artesanal se requiere una consistencia que sea baja, es decir que este en el rango de 5 a 8%.

La ecuación que define la consistencia es:

$$C = \frac{\text{Peso de la fibra}}{\text{Peso de la fibra} + \text{Peso agua}} = \frac{P_f}{P_f + P_w}$$

---

<sup>9</sup> CRUZ C Robert y PEREA S. Ana. Diseño Preliminar de una planta piloto para la producción de papel a partir de papel de desecho. Bucaramanga 1993. Universidad Industrial de Santander. p 36.

Definiendo  $R = P_f/P_w$ . Y reemplazando en la ecuación de consistencia.

$$C = \frac{R}{R + 1}$$

La proporción entre el agua y el papel para la fabricación manual está establecida de acuerdo con el tipo de pulpa en una proporción de 1Kg de papel seco por 14 litros de agua<sup>10</sup>

El peso de 14 litros de agua es 14 Kg.

Con esto  $R = 1/14 = 0.0714$ .

$$C = \frac{R}{R + 1} = \frac{0.0714}{0.0714 + 1} = 0.0667$$

Lo cual equivale a una consistencia de 6.6 % en peso.

En mediciones realizadas en el taller se obtuvo que para producir 20 hojas de las medidas especificadas se necesita 1 Kg de papel seco.

Teniendo en cuenta que en este diseño se va a utilizar el proceso de destintado por flotación el cual requiere que la consistencia sea lo más baja posible para que las burbujas de aire generadas en el recipiente no se rompan antes de llegar a la superficie<sup>11</sup> Se selecciona una consistencia de 5% por ser la más pequeña en el rango de consistencias bajas con el fin de cumplir con el requisito del proceso en mención.

---

<sup>10</sup> OREJUELA Edmundo Jesús. Producción de papel artesanal. Cicelpa Universidad Industrial de Santander.1993. p 15

<sup>11</sup>CÁCERES, Hernán y BRICEÑO, Carlos Producción de pulpas a partir de papeles de desecho impresos con tonos fuertes, destintados por flotación. Bucaramanga. Ediciones UIS.1988 p 56.

Debido a que en el taller los requerimientos de producción son de 1000 hojas por día y como se expreso anteriormente para la producción de 20 hojas se utiliza 1 Kg de papel se extrapolan estos valores se obteniendo que la cantidad de papel seco que se requiere para 1000 hojas es de 50 Kg. Utilizando la ecuación que define la consistencia de la pulpa se calcula, con una consistencia de 5 % y un peso de papel de 50 Kg.

Reemplazando:

$$C = \frac{\text{Peso de la fibra}}{\text{Peso de la fibra} + \text{Peso agua}}$$

$$5 * 10^{-2} = \frac{50 \text{ Kg}}{50 \text{ Kg} + \text{Peso de agua}}$$

Despejando:

$$\text{Peso de agua} = 950 \text{ Kg}$$

$$\text{Volumen de agua} = \frac{\text{Masa}}{\text{Densidad}}$$

Reemplazando en la ecuación anterior:

$$\text{Densidad} = 1000 \text{ Kg} / \text{m}^3.$$

$$\text{Volumen de agua} = \frac{950}{1000} = 0.95 \text{ m}^3.$$

En conclusión para producir 1000 hojas de papel en el taller de la Fundación Albeiro Vargas y Angeles custodios se requieren.

- ◆ 50 Kg de papel seco.
- ◆ 950 litros de agua.

Es necesario aclarar que éste volumen de agua es promedio pues dependiendo del tipo de pulpa con que esté fabricado el papel de desecho que se esté trabajando la cantidad de agua será mayor o menor a ésta.

La densidad del papel seco de oficina es de aproximadamente 600 Kg/m<sup>3</sup> con este valor se calcula el volumen de los 50 Kg de papel seco necesarios para la producción deseada.

$\rho = \text{Masa} / \text{Volumen}$ .

$\text{Volumen} = 50 \text{ Kg} / 600 \text{ Kg/m}^3 = 8.333 \cdot 10^{-2} \text{ m}^3$  de papel.

Sumando este volumen con el de agua se obtiene aproximadamente el volumen de pulpa necesario para la producción de 1000 hojas.

$V_{\text{pulpa}} = V_{\text{agua}} + V_{\text{papel}} = 0.950 + 0.08333 = 1.03 \text{ m}^3$ .

## **5.5 DETERMINACIÓN DE LOS EQUIPOS NECESARIOS PARA LA PRODUCCIÓN DE PAPEL.**

En este proyecto de grado se planteó inicialmente el diseño básico de ingeniería de los siguientes equipos:

- Picadora para Papel.
- Un desfibrador para hacer la pulpa.
- Un agitador para humectar el papel
- Una celda para destintado de la pulpa.
- Una prensa para el secado del papel.

En el diseño de todo el proceso de producción y de los equipos se parte del punto que el papel se encuentra clasificado de acuerdo al color y textura de las hojas; esta labor en el taller es realizada por los ancianos y hace parte de la Terapia Ocupacional recomendada por los médicos para el bienestar físico y psicológico de los ancianos. Esta labor es supervisada por los ángeles custodios

a los cuales se les enseñan los criterios de clasificación para evitar que materiales nocivos y extraños entren al proceso de fabricación de la hoja.

La función de la picadora de papel es como su nombre lo indica picar el papel llevándolo a un tamaño específico, en este diseño esta parte del proceso se suprime, debido a que con esto se influye negativamente en la calidad final de la hoja, pues muchos de los papeles de desecho utilizados en el taller son reciclados lo que hace que la longitud de la fibra de estos sea corta y al picarlo nuevamente se reduce aun más la longitud de esta, lo cual impide una nueva unión entre la fibras al momento de formar una nueva hoja, esta función inicialmente en el taller es realizada por los ancianos y también hace parte de las recomendaciones de Terapia Ocupacional, con el fin de no quitar esta función a los ancianos y tampoco influir en la calidad final del papel se opta por no picar el papel hasta este tamaño sino poner a los ancianos a que deshojen los libros, revistas y magazines que se vayan a utilizar en el proceso y ya de este tamaño aproximadamente un tamaño carta convencional, se pueden pasar a la fase de humectación del papel.

La función del humectador dentro del proceso de producción de papel es la de por medio de una acción mecánica y térmica, se humecte el papel seco lo que ayudará a una elaboración de pulpa más rápida al tiempo que ayuda a aflojar la tinta impregnada en el papel y por ende se mejora su color y calidad final. Este humectador debe utilizar agua a aproximadamente 45°C con el fin de disminuir el tiempo de penetración del agua en el papel seco. Este equipo no se incluirá en el diseño del taller pues su función es importante cuando se manejan grandes volúmenes de pulpas (>10 ton/día), como el taller diseñado maneja un volumen menor que este y la etapa de

humectación es la parte inicial del desfibrado, su labor será integrada a la desfibración.

La función del desfibrador es convertir el papel ya húmedo en pulpa por medio de una acción físico química en presencia de agua, con el fin de lograr la separación de los enlaces fibra-fibra por medio de una agitación fuerte y ayudar al desprendimiento de la tinta impregnada en las fibras; ésta función es actualmente realizada en el taller por una licuadora. En este diseño, la desfibración del papel se realizará en la misma máquina en la que se realiza la humectación del papel pues los elementos mecánicos para la desfibración son los mismos que para la humectación lo único que varía es el tiempo de permanencia en este proceso que para el caso de la desfibración debe ser mayor que para la humectación.

Para realizar el destintado del papel se utilizará el proceso de flotación, el cual consiste en separar la tinta de las fibras y luego hacerla subir a la superficie por medio de burbujas de aire; para realizar esta labor se diseñará una celda de destintado a la cual se le inyecta aire a presión por el fondo del recipiente, estando la pulpa en agitación y se le adiciona un tensoactivo con el fin de encapsular la tinta que se encuentra en suspensión debida a la previa acción de la humectación y la desfibración. Este proceso también será llevado a cabo en la misma máquina en la que se humecta y se desfibra pues la única diferencia notable con las otras es la incorporación de un mecanismo que inyecte aire por el fondo del recipiente en donde se este agitando la pulpa lo cual se incorporará en el diseño a realizar de la máquina para hacer papel.

En conclusión antes de entrar a diseñar individualmente una máquina para picar, una máquina para humectar, una máquina para desfibrar y una celda

para destintado, se diseñara una maquina en la que se integren todas estas funciones.

## **5.6 DISEÑO DE LA MÁQUINA PARA HUMECTACION DESFRIBADO Y DESTINTADO.**

### **5.6.1 Determinación del volumen de pulpa que trabajara la máquina.**

Para la determinación del volumen de pulpa que maneja a máquina se consideran los siguientes aspectos.

- ◆ Volumen de pulpa necesario para la fabricación de 1000 hojas de las medidas requeridas: 1.03 m<sup>3</sup>
  
- ◆ Capacidad volumétrica de las tinas existentes en el taller: 213.3 litros, 213.300 cm<sup>3</sup> cada una
  
- ◆ En el taller existen actualmente 3 tinas de la capacidad mencionada anteriormente: con esto:

$$N^{\circ} \text{ tinas requeridas} = \frac{1028657.5 \text{ cm}^3}{213289.9 \text{ cm}^3} = 4.82 \text{ tinas}$$

De la anterior operación se concluye que es necesario realizar la producción de pulpa por partes debido a que el número de tinas existentes en el taller es menor que el requerido para manejar toda la pulpa necesaria además la construcción de un equipo para elaborar toda la pulpa de una sola vez es innecesaria y costosa.

El volumen de pulpa que pueden manejar las tres tinas existentes en el taller es de 640000 cm<sup>3</sup> por lo cual se decide dividir el volumen de pulpa que se va a elaborar en 2 lotes de producción, además el diseño de los equipos con

esta capacidad deja la posibilidad de incrementar aun más la producción en el taller, realizando el proceso de humectación, desfibrado y destintado varias veces.

En conclusión el volumen de pulpa que maneja la máquina es:

514328.75 cm<sup>3</sup>, 514.32 litros, 0.514 m<sup>3</sup>

Teniendo en cuenta el volumen de pulpa necesario para la elaboración de 1000 hojas de papel, se procede al diseño de la máquina para cumplir con las funciones de humectación, desfibrado y destintado; como ya se expresó anteriormente todas estas funciones tienen en común que el sitio donde se llevarán a cabo, conocido en el medio papelerero como tina, esta debe estar dotada de un rotor que imprima velocidad de giro, tanto al agua para que humecte rápidamente el papel seco, a la pulpa para que se produzca la desfibración del papel y a las fibras para que se afloje la tinta impregnada entre estas. Como todas estas fibras tienen en común el proceso de agitación, de acuerdo a este se le da el nombre al equipo en donde se harán los procesos antes mencionados. Con los anteriores requerimientos se procede al diseño del agitador y el de todos los elementos necesarios.

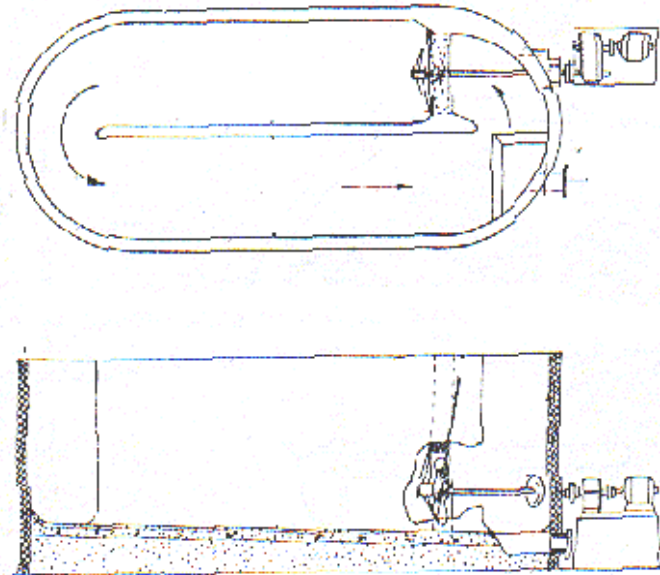
### **5.6.2 Diseño del agitador.**

Para la forma del agitador se tienen tres opciones dependiendo de la posición que tenga el eje impulsor dentro del recipiente, estas opciones son:

1. Agitadores Estándar Horizontales, Emplean una hélice que se mueve dentro de un orificio ubicado en la pared de la tina, figura 12.
2. Agitadores de accionamiento lateral, Utilizan una hélice abierta, es decir no introducida en orificio como la anterior, que se sitúa a un lado de la tina, figura 13.

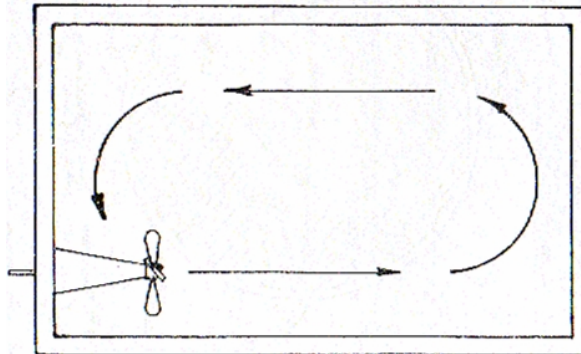
3. Agitadores verticales. Figura 14.

Figura 12. Agitador horizontal.



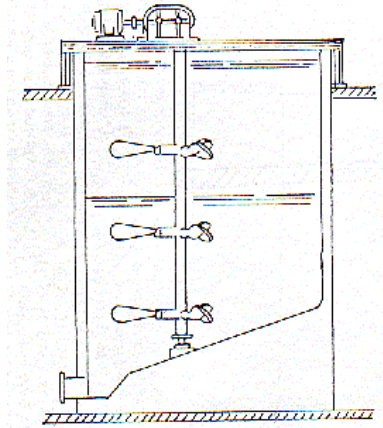
Fuente: ZUEHLKE E. R. Agitación de pastas en fábricas de papel. En: Investigación y técnica del papel. —Madrid— Tomo 3. Octubre de 1966. Numero 10. P 969.

Figura 13. Agitador de accionamiento lateral.



Fuente: ZUEHLKE E. R. Agitación de pastas en fábricas de papel. En: Investigación y técnica del papel. —Madrid— Tomo 3. Octubre de 1966. Numero 10. P 970.

Figura 14. Agitador vertical.



Fuente: ZUEHLKE E. R. Agitación de pastas en fábricas de papel. En: Investigación y técnica del papel. – Madrid– Tomo 3. Octubre de 1966. Numero 10. P 979.

De las tres opciones anteriores se selecciona el agitador vertical ya que esta tiene las siguientes ventajas:

- Permite el manejo de consistencias más altas que las otras dos.
  - El nivel de pasta o pulpa puede variar entre límites muy amplios sin que las hélices trabajen en vacío creándose excesivas salpicaduras.
  - Permite una mejor circulación de la pasta y proporcionan un mejor patrón de flujo si se requiere agitar para producir un mezclado.
- ◆ **Efectos de la geometría en el diseño de agitadores.**

Las siguientes son normas sugeridas<sup>12</sup> que deben aplicarse para alcanzar un mezclado eficiente:

---

<sup>12</sup> OLDSHUE Herb. Fluid Mixing technology. Londres. International 1994. P 258.

- La altura del fluido debe ser igual a un 70% de la altura total del tanque.
- La altura del fluido debe ser igual al diámetro del tanque ( $Z=T$ ).
- La distancia del impulsor al fondo del tanque debe ser igual al diámetro del impulsor ( $C = D$ ).
- Si la altura del tanque es muy grande respecto al diámetro ( $Z/T >1$ ), se necesita más de un impulsor.
- El diámetro del impulsor debe ser igual a un tercio del diámetro del tanque ( $D = T / 3$ ).

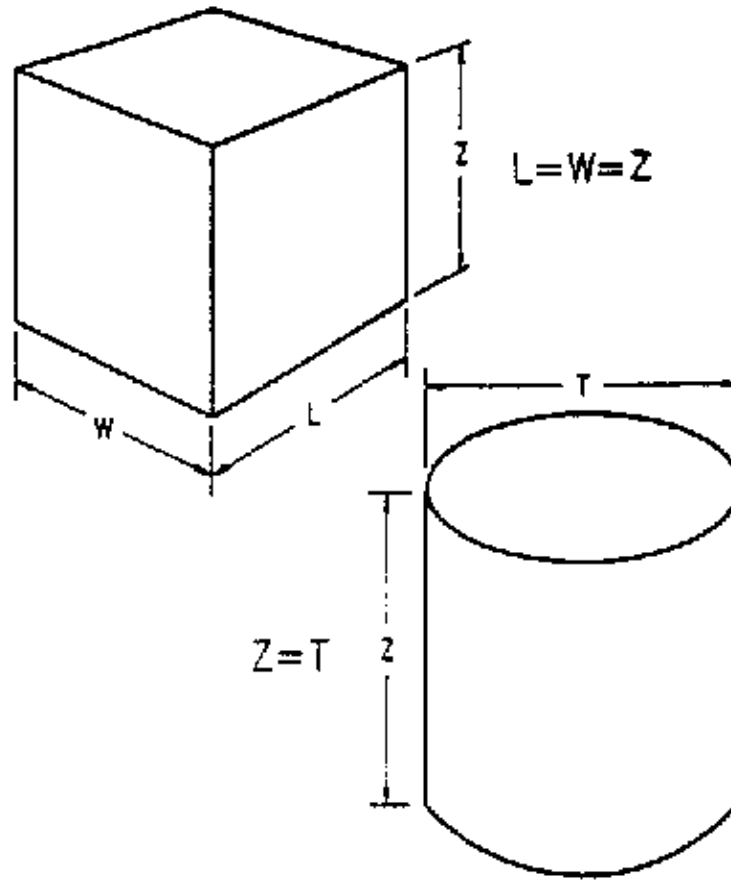
#### ◆ Selección de la forma del recipiente.

En la literatura consultada<sup>13</sup> se encontró que para los agitadores verticales existen dos formas recomendadas, cilíndricos y cúbicos en la figura se muestran estas opciones y las relaciones entre sus dimensiones principales recomendadas.

---

<sup>13</sup>Fuente: DONOUGH Mc. Mixing for the process Industries. Londres: Lewis, 1987. P 154

Figura 15. Geometrías costo efectivas para agitadores verticales.



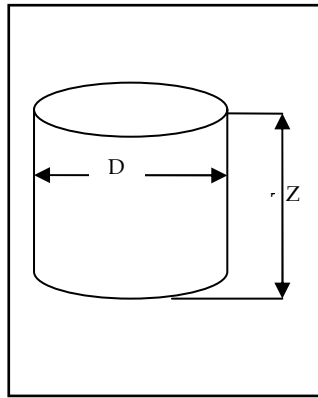
Fuente: DONOUGH Mc. Mixing for the process Industries. Londres: Lewis, 1987. P 187

Para este diseño se selecciona la forma cilíndrica por ser más compacta, más rígida y por requerir menor cantidad de material para su construcción, además de ser la adecuada para dar el patrón de flujo axial que se desea generar en el proceso de desfibrado del papel. La geometría ideal en tanques cilíndricos es que el diámetro sea igual a la altura. Pues esta da el mejor aprovechamiento de la potencia.

### ◆ Tamaño del recipiente vertical

Considerando las anteriores recomendaciones las dimensiones del recipiente son:

Figura 16. Forma seleccionada para el agitador.



En la figura anterior  $D=Z$ .

$$V_{pulpa} = 514328.75 \text{ cm}^3 = \frac{\pi}{4} D^2 \cdot Z$$

$$\text{Como } Z = D$$

$$514328.75 \text{ cm}^3 = \frac{\pi}{4} D^3$$

$$D = Z = 86.84 \text{ cm.}$$

Para fines constructivos el diámetro interno final del recipiente  $D = 90 \text{ cm}$ .

$Z$  se refiere a la altura del fluido en el recipiente. Siguiendo la recomendación de que la altura del fluido debe ser igual a un 70% la altura total del tanque de 120 cm.

◆ **Calculo del espesor del recipiente.**

Los esfuerzos a tener en cuenta en el diseño de recipientes circulares a presión son:

Junta circunferencial  $S_1 = \frac{PD}{4t}$

Junta longitudinal  $S_2 = \frac{PD}{2t}$

Donde:

P Presión de trabajo del tanque. Para este caso es la presión hidrostática.

D diámetro del tanque.

t espesor del tanque

En el manual de cálculo para recipientes a presión<sup>14</sup> se da la siguiente ecuación para el cálculo del espesor del tanque.

$$t = \frac{PR}{SE - 0.6 * P}$$

Donde

R es el radio del tanque. En pulgadas

S es el esfuerzo máximo de permitido del material. En Psi.

E eficiencia de la junta.

P presión de diseño o presión máxima de trabajo permitida. En Psi

---

<sup>14</sup> MEGYESY Eugene F. Manual de cálculo para recipientes a presión. México. Limusa. 1998 P 25

- Presión de trabajo.

$$P_h = \rho gh$$

$\rho = 1200 \text{ Kg/m}^3$  densidad aproximada de la pulpa del papel en el taller.

$h = 0.9$  altura máxima de fluido

$g =$  gravedad  $9.81 \text{ m/seg}^2$ .

Reemplazando valores y calculado se obtiene como resultado

$$P_h = 10594.8 \text{ Pa.} = 1.54 \text{ psi.}$$

$$P_{\text{diseño}} = 1.1 P_h = 1.1 * 1.54 = 1.694 \text{ psi.}$$

$S = 18.81 * 10^3 \text{ psi}$ , tomado de las tablas dadas en el manual de recipientes a presión para el acero inoxidable 304. Ver anexo E

$E = 0.7$ , Eficiencia de la junta a para soldadura a tope. Ver anexo B

Reemplazando estos valores en la ecuación para el cálculo del espesor:

$$t = \frac{1.694 * 17.72}{18.81 * 10^3 * 0.7 - 0.6 * 1.694} = 2.28 * 10^{-3} \text{ pulgadas, } 0.06 \text{ mm.}$$

$$t = 6 * 10^{-2} \text{ mm}$$

Como se puede apreciar el espesor requerido es similar al de una hoja de papel.

En la siguiente tabla se muestran los espesores mínimo recomendados de acuerdo con el diámetro nominal del recipiente cilíndrico.

Tabla 3. Espesores mínimos recomendados de acuerdo al diámetro del recipiente.

Diámetro nominal del recipiente	Espesor mínimo		
	Acero al carbón		Aleado
	Tubo	Placa	
200 a 305	-----	-----	1.5
305-737	3.18	3.18	1.9
737-9919	4.8	4.8	2.5
1016-1525	5.5	5.5	3

Fuente: Manual de soldadura Megriweld. Medidas en milímetros

De la tabla anterior se selecciona para el recipiente del agitador un espesor de 2.5 mm, Lamina Calibre 12 en acero inoxidable 304. Las dimensiones finales de este equipo se pueden apreciar en el plano #01001.

#### ◆ Tipo de hélices y geometría.

La función de la hélice es la de ser el medio trasmisor de energía al agua o a la pulpa, según sea el caso, para producir en estas movimientos irregulares y turbulentos que den como resultado en este caso la formación en primer lugar de la pulpa y luego la desfibración de esta, en general se puede decir que la hélice es el elemento mecánico que genera la agitación dentro de la tina, la agitación se puede clasificar en tres tipos diferentes:

\*Agitación moderada: Comprende esencialmente la mezcla de productos miscibles.

\*Agitación media. Comprende la absorción de gases solubles.

\*Agitación violenta. Comprende la formación de emulsiones.

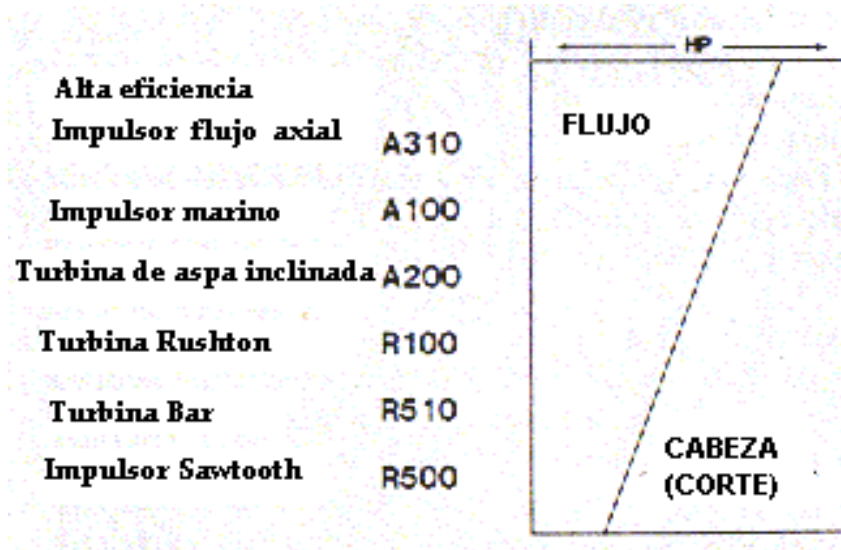
Los tipos básicos de hélices o impulsores se pueden clasificar en dos grandes grupos, los de flujo radial y los de flujo axial. La clasificación depende del ángulo que forman las aspas con el plano de rotación del impulsor.

Los impulsores de flujo radial desarrollan una descarga de fluido horizontalmente que sale de los alabes del impulsor hacia las paredes del tanque.

Los impulsores axiales crean un flujo vertical de arriba hacia abajo a través de las aspas, paralelo al eje de rotación. Estos producen más flujo por unidad de potencia que los impulsores de flujo radial y son más costo efectivo en operaciones de flujo controlado; por ejemplo, sólidos suspendidos, mezclado, transferencia de calor, algunas aplicaciones de transferencia de masa, etc.

Se puede modelar el impulsor esencialmente como una bomba (aunque con una eficiencia no muy cercana a uno), el impulsor consume potencia y produce flujo y cabeza, o esfuerzo de corte. Toda la potencia que se suministra al mezclador produce en el fluido flujo, cabeza o corte. A una potencia constante, la cantidad relativa de flujo y esfuerzo de corte aplicada al fluido puede variar por cambios en el diseño del impulsor. Todos los impulsores son diseñados creando algún balance entre el flujo y el esfuerzo de corte. Aquí no son impulsores puramente axiales o radiales, aunque realmente los diseños son predominantemente de flujo radial o axial. La siguiente figura muestra un balance entre flujo / cabeza (esfuerzo de corte) para tipos comunes de impulsores a potencia constante.

Figura 17. Espectro de impulsor relacionando flujo/ cabeza (Corte) a potencia constante para varios tipos de impulsores.

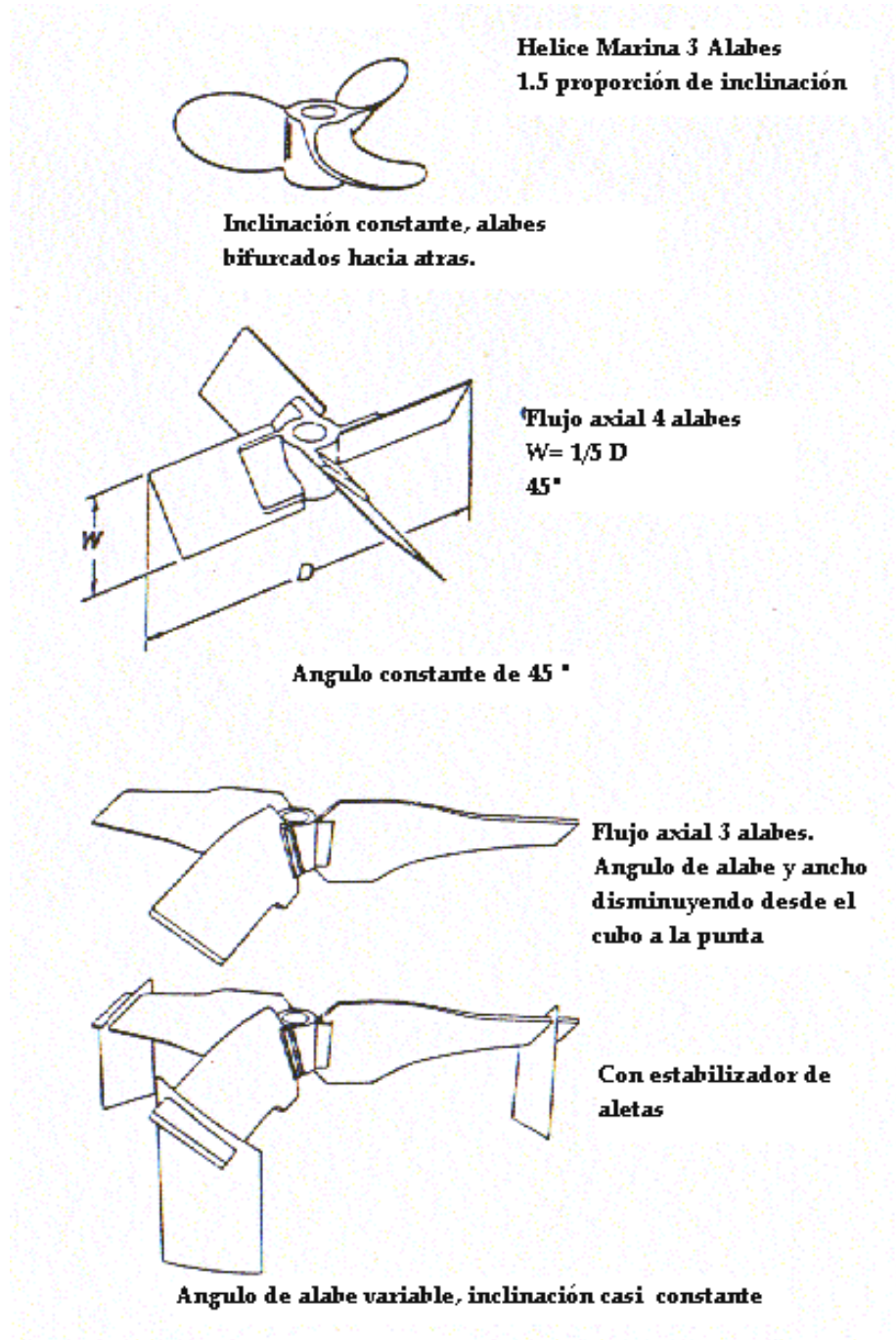


Fuente: DONOUGH Mc. Mixing for the process Industries. Londres: Lewis, 1987. P 184.

El tipo de impulsor necesario para el proceso de pulpeo de papel es de tipo axial debido a los requerimientos de mezcla del proceso.

Para el diseño de impulsores de tipo axial se tienen las siguientes recomendaciones dadas en la siguiente figura

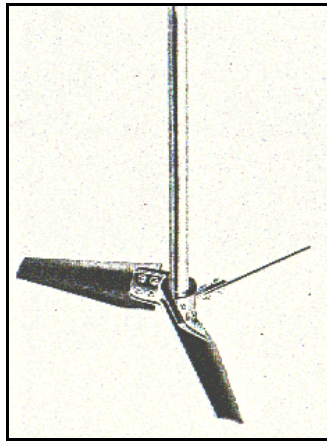
Figura 18. Geometrías para impulsores axiales.



Fuente: DONOUGH Mc. Mixing for the process Industries. Londres: Lewis, 1987. P 192.

Entre las hélices de tipo axial la que da la mayor eficiencia de mezclado es la hélice A310 la cual se muestra en la siguiente figura.

Figura 19. Hélice A-310.



Fuente: DONOUGH Mc. Mixing for the process Industries. Londres: Lewis, 1987. P 215.

La relación recomendada entre el diámetro del tanque y el diámetro de la hélice oscila entre 1.5 y 3.5.<sup>15</sup>

#### ◆ Diámetro De La Hélice.

Cumpliendo con la relación de 3.5 entre el diámetro del recipiente y el de la hélice el diámetro para la hélice es de 26 cm. El tipo de hélice seleccionado para este diseño es el A310, por dar mayor eficiencia de mezclado. Para definir la geometría de esta hélice se utilizara una hélice de este tipo existente en el laboratorio de Reología y mezclas de la Escuela de Ingeniería Química,

---

<sup>15</sup> ZUEHLKE E. R. Agitación de pastas en fábricas de papel. En: Investigación y técnica del papel. –Madrid– Tomo 3. Octubre de 1966. Numero 10. P 982.

midiendo sus dimensiones principales y aplicando un factor de escala. Las dimensiones finales para esta hélice se pueden ver en el plano #01003.

#### ◆ **Espesor y Material De La Hélice.**

La recomendación dada en la literatura consultada sugiere un perfil delgado ya que la utilización de este tipo de perfiles en la agitación de pulpa de papel implica una disminución en el consumo de potencia, la recomendación específica es que el perfil tenga de espesor del 1 al 6 % de su cuerda. En este diseño el espesor para la hélice será del 5 % de la cuerda.<sup>16</sup>

Con la geometría obtenida por escalamiento del modelo conseguido, el espesor de hélice fina es de 5 mm.

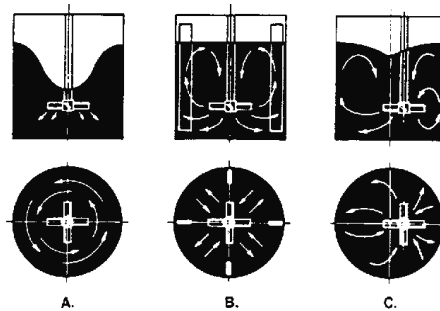
El material seleccionado para fabricar la hélice dada las condiciones de humedad y la posibilidad de utilizar blanqueadores será acero inoxidable 304.

La hélice diseñada da un flujo axial y dependiendo de su ubicación y de la existencia o no de desviadores en el recipiente será la forma del patrón de flujo, en la figura 20 se puede observar los patrones de flujo posibles.

---

<sup>16</sup> ZUEHLKE E. R. Agitación de pastas en fábricas de papel. En: Investigación y técnica del papel. –Madrid– Tomo 3. Octubre de 1966. Numero 10. P 986.

Figura 20. Patrones de flujo dados por una hélice axial. A. Centrada sin baffles. B. Centrada con baffles C. Descentrada sin baffles.



Fuente: DONOUGH Mc. Mixing for the process Industries. Londres: Lewis, 1987. P 226.

Para este diseño el flujo que se requiere desarrollar debe ser axial ya que el papel al inicio del proceso se deposita en la parte superior del recipiente y lo que se desea lograr es que este pase por la zona de alta turbulencia generada en los alrededores de la hélice. Para este proyecto la forma de flujo que se debe desarrollar es la B de la figura 15 por esto se diseñara un agitador en el cual el eje se encuentre centrado y en las paredes internas se le colocaran baffles para favorecer la agitación y el sentido de flujo.

#### ◆ Número y dimensionamiento de los baffles.

El numero de baffles o desviadores utilizado comúnmente es de 4 ubicado a noventa grados entre si para la anchura de estos se utiliza entre 1/10 a 1/12 del diámetro del tanque (dimensión radial)<sup>17</sup>. Y para la altura lo recomendable es que tengan la altura del fluido<sup>16</sup>.

---

<sup>17</sup> DONOUGH Mc. Mixing for the process Industries. Londres: Lewis, 1987. P 232.

Con estas recomendaciones se tiene que para la tina se utilizaran 4 baffles o desviadores ubicados a noventa grados entre si con las siguientes dimensiones:

$$\text{Ancho del baffle} = \frac{90}{12} = 7.5 \text{ cm.}$$

La altura del baffle se selecciona de acuerdo con la altura del fluido igual a 90 cm.

Altura del baffle = 90 cm.

#### ◆Potencia necesaria en el agitador

Con el fin de determinar por métodos experimentales cual es la potencia necesaria para lograr convertir el papel seco a pulpa se desarrollo una prueba en el laboratorio de Reología y Mezclas de la Escuela de Ingeniería Química. En esta se utilizó el equipo Lightnin L5U08, el cual es un mezclador para pruebas de laboratorio, útil para medir el consumo de potencia necesario en la mezcla de fluidos. Este instrumento permite graduar el número de revoluciones por minuto a las cuales se quiere agitar el fluido, el tiempo la agitación y suministra el valor en vatios de la potencia consumida en la agitación.

Figura 21. Mezclador Lightnin L5U08



#### ◆ Desarrollo de la prueba en laboratorio

Las condiciones bajo las que se desarrolló la prueba en el laboratorio fueron:

- \* Se utilizó el mezclador Lightnin modelo L5U08.
- \* Se utilizó el impulsor tipo A310.
- \* Se fijaron las RPM en 400 y para un caso 500.
- \* Se tomaron 6 muestras de 50 gr papel seco y reciclado.
- \* Temperatura del agua 22°C.
- \* Tiempo de agitación se fijó en 3 minutos.

A las muestras de papel seco se les agregó agua del acueducto a 22° C en cantidades adecuadas obteniendo así consistencias de 4 , 5 ,6 , 7 y 8% en peso, con la muestra de papel lista se encendió el mezclador y se anotaron los valores de potencia dados en el display del mezclador cada 10 segundos,

estos valores corresponden a la potencia necesaria para efectuar el desfibrado del papel.

Figura 22. Estado final de la pulpa y hélice utilizada.



Los resultados de esta prueba se pueden ver en las siguientes gráficas en las que se dan los valores de potencia promedio y potencia máxima.

Figura 23. Curvas de Potencia- Consistencia para pulpa de papel reciclado.

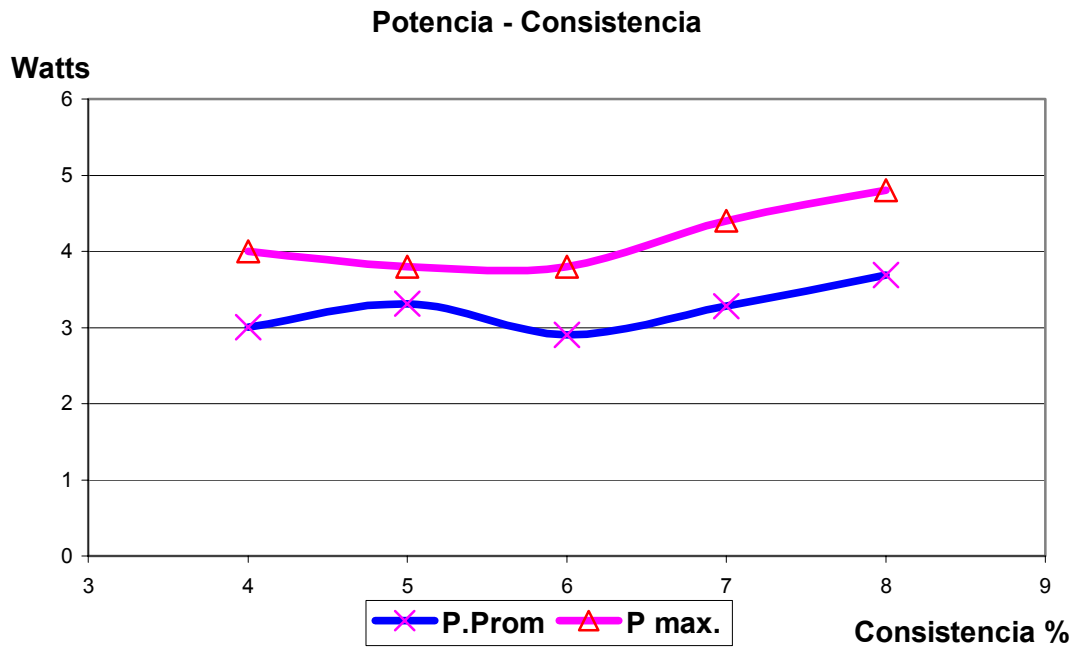
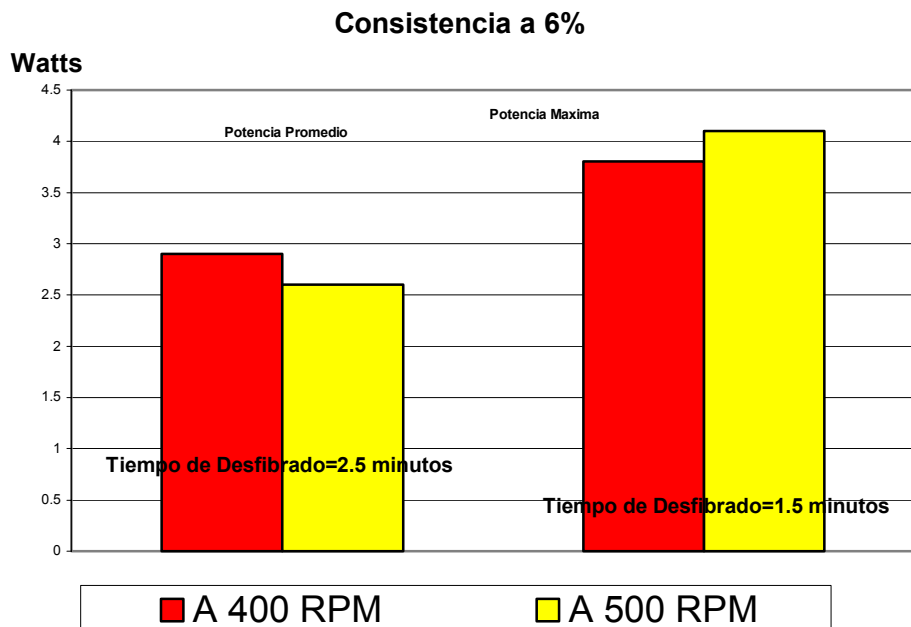


Figura 24. Variación de la potencia con el cambio en las revoluciones por minuto.



Las conclusiones que se obtuvieron de esta prueba con respecto al mezclado del papel y el agua son:

- ◆ El consumo de potencia en el proceso de mezclado se mantuvo en el rango de 3 a 5 vatios para todas las consistencias.
- ◆ Como se preveía a mayor consistencia, mayor consumo de potencia.
- ◆ Cuando se realizó la variación de 400 a 500 rpm en una consistencia del 6 % la variación de la potencia fue mínima.
- ◆ El tiempo que tomó el papel para mezclarse con el agua y convertirse en pulpa, fue proporcional a la consistencia, es decir, a mayor consistencia mayor tiempo.
- ◆ Se pudo observar que el valor de la potencia es aproximadamente constante para una determinada consistencia.

Con las anteriores conclusiones y observaciones realizadas y luego de varias visitas a instituciones en donde se encuentran funcionando agitadores similares al diseño planteado se decide colocar un motor de 1 caballo de potencia, debido a que para el caso de la pulpa lo primordial para lograr el desfibrado del papel no es la cantidad de potencia sino el tiempo de agitación. Las revoluciones por minutos se fijaron en 450 debido a que con este valor se encontró en la prueba realizada un buena calidad de la pulpa y un tiempo adecuado de mezclado. Para esta selección también se consideraron criterios económicos y de disponibilidad del motor en el mercado.

Con lo anterior se determina que las condiciones para la agitación de este diseño serán, 1 Hp de potencia girando a 450 rpm.

#### ◆ Motorreductor para el agitador.

Con el fin de evitar que la longitud de la fibra se acorte demasiado se decide reducir la velocidad de giro del eje, el eje del agitador gira a 450 rpm y el motor es de 1 Hp con estos valores se va a las tablas dadas por los fabricantes. En este caso se selecciono de la tabla de motoredutores fabricados por SEW EURODRIVE y se elige un motoredutor de piñones helicoidales SEW RF 17 DT80 K2, el cual tiene un diámetro de salida de 20 mm y factor de servicio de 3.3 y una RPM de salida de 460 rpm., trabajando a 220 Voltios. Ver Anexo C

#### ◆ Diseño del eje del agitador.

Los requerimientos que se tienen para el eje del agitador son:

Trasmitir 1 Hp a 450 rpm a una pulpa de consistencia aproximada de 6 %.  
Con estas condiciones se procede a diseñar el eje.

$$P(\text{hp}) = \frac{T(\text{lb-pulg}) * N(\text{rpm})}{63000}$$

$$P = 1 \text{ hp}$$

$$N = 460 \text{ rpm.}$$

Reemplazando

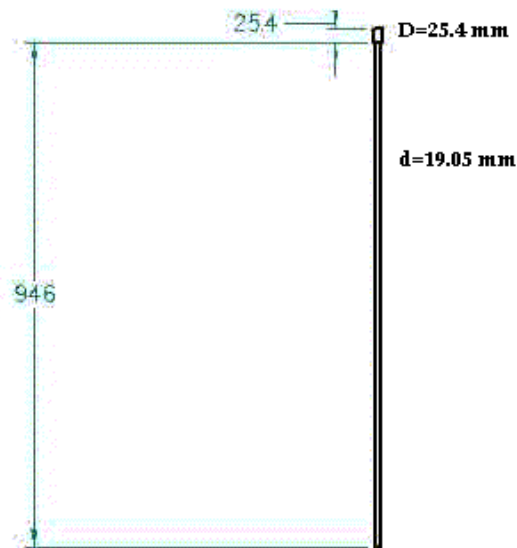
$$T = 137 \text{ Lb-pulg.}$$

El material que se requiere para la construcción de este es un acero inoxidable ya que existe alta humedad en el proceso y se pueden adicionar blanqueadores.

Para el acero inoxidable 304. La resistencia máxima a la fluencia es de 35. Ksi y la resistencia última es 85 Ksi, el porcentaje de elongación en 2 pulgadas es 60<sup>18</sup>.

En la siguiente figura se muestra el eje a calcular y los diámetros seleccionados para este. El diferencial a analizar por fatiga esta ubicado en la zona donde se produce la reducción en el diámetro.

Figura 25. Eje del Agitador.

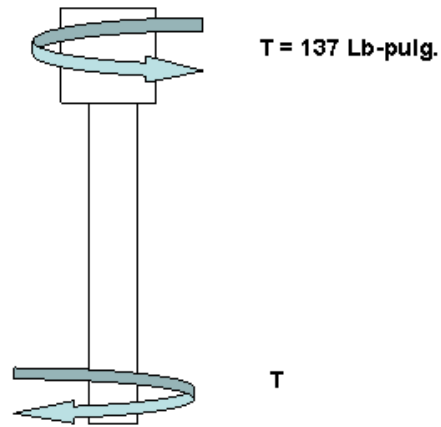


El estado de cargas para este eje es el mostrado en la siguiente figura.

---

<sup>18</sup> MOTT Robert L. Diseño de elementos de Maquinas. México. Prentice hall. 1995 p 756.

Figura 26. Cargas sobre el eje del agitador.



Con estas cargas se calcula el esfuerzo cortante debido a la torsión.

$$\tau = \frac{16T}{\pi d^3}$$

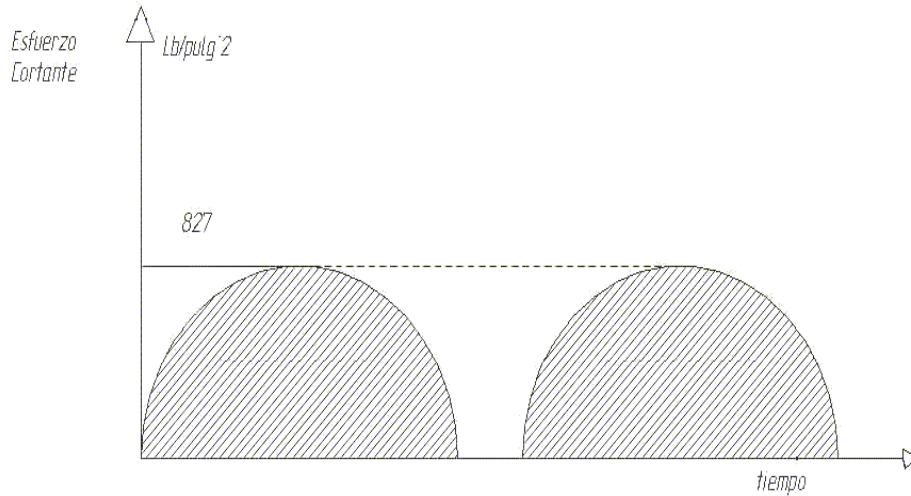
Para el torque solicitado  $T = 137 \text{ Lb-pulg.}$  y el diámetro dado  $d = \frac{3}{4}$

pulg.

$$\tau_{\text{torsión}} = 827 \text{ Lb /pulg}^2.$$

El diagrama de esfuerzos cortantes en el tiempo para este eje es:

Figura 27. Esfuerzo cortante contra tiempo para el eje del agitador.



Con esto se calcula el esfuerzo cortante alterno ( $\tau_a$ ) y el esfuerzo cortante medio ( $\tau_m$ ).

$$\tau_a = 827 \text{ Lb /pulg}^2 \text{ y } \tau_m = 827 \text{ Lb/pulg}^2.$$

El tipo de onda de la carga es reversible.

A continuación se muestran los valores para los factores antifatiga dadas las condiciones de carga y trabajo para el eje.

$K_I = 0.58$  Torsión Pura.

$K_s = 0.9$  Rectificado común.

$K_d = 0.9$  Diámetro entre 0 y 2 pulgadas.

$K_c = 0.897$  confiabilidad del 90%

$K_T = 1$  Temperatura ambiente

$K_m = 0.9$  Inclusiones acero de 85 Ksi de resistencia última.

$K_{ts}$  1.75 De gráficas<sup>19</sup> con radio de entalladura de 0.5 mm y relación entre los diámetros  $D/d = 1.33$

$$K_{fs} = 1 + q_s (K_{ts} - 1)$$

$q_s = 0.82$  Sensibilidad a la entalladura para un radio de 0.5 mm.

$$K_{fs} = 1.615.$$

Con estos valores y con la resistencia a la fatiga para especímenes ideales  $S_e$   
 $S_e = 0.5 * S_{ut} = 0.5 * 85 \text{ Ksi} = 42.5 \text{ Ksi}$ . Con este valor y los factores antifatigas se calcula la resistencia a la fatiga afectada.

$$S_e = S_e \cdot 0.58 \cdot 0.9 \cdot 0.9 \cdot 0.897 \cdot 1 \cdot 0.9 / 1.615 = 42.5 \cdot 0.58 \cdot 0.9 \cdot 0.9 \cdot 0.897 \cdot 1 \cdot 0.9$$

$$S_e = 9.98 \text{ Ksi}$$

Con la ecuación de la teoría de Mises Goodman.

$$\frac{1}{N} = \left[ \left( \frac{\sigma_m}{S_{ut}} + K_f \frac{\sigma_a}{S'_e} \right)^2 + 3 \left( \frac{\tau_m}{S_{ut}} + K_{fs} \frac{\tau_a}{S'_e} \right)^2 \right]^{1/2}$$

La parte correspondiente a flexión y carga axial se igualan a cero, debido a que en este caso es torsión pura.

$$\frac{1}{N} = \left[ 3 \left( \frac{\tau_m}{S_{ut}} + K_{fs} \frac{\tau_a}{S'_e} \right)^2 \right]^{1/2}$$

$S'_e = S_e \cdot \text{Factores antifatiga excepto } K_{fs}$  Reemplazando y calculando.

$$S'_e = S_e \cdot 0.58 \cdot 0.9 \cdot 0.9 \cdot 0.897 \cdot 1 \cdot 0.9$$

$S'_e = 16.15 \text{ Ksi}$ . Reemplazando valores en la ecuación de Mises Goodman.

---

<sup>19</sup> PARADA Alfredo, Apuntes de clase Diseño de Maquinas I .1998. UIS Bucaramanga

$$\frac{1}{N} = \left[ 3 \left( \frac{827}{85000} + 1.615 \frac{827}{16150} \right)^2 \right]^{1/2}$$

$$N = 3.6$$

Con este factor de seguridad superior a 1 se asegura que el eje no fallara.

◆ Longitud del Eje.

Para definir la longitud del eje se sigue la recomendación geométrica de que la altura que debe tener la hélice del fondo del agitador sea igual al diámetro de esta.

$L_{\text{eje}} = \text{Altura del recipiente} - \text{diámetro de la hélice.}$

$$L_{\text{eje}} = 120 - 26 = 94 \text{ cm.}$$

En resumen el eje necesario es un eje en acero inoxidable 304 de 94 cm de longitud y con un diámetro de 3/4 de pulgada. Con el fin de evitar flexiones excesivas que puedan producir un pandeo en el eje debido a la longitud de este y las revoluciones a que gira, en el fondo del recipiente se colocara un trípode que sostiene un buje que soportará al eje Para apreciar las dimensiones de este soporte se puede remitir al plano 01004. Para apreciar las dimensiones finales de este eje se puede remitir al plano 01002

◆ Acople para el eje y el motoreductor.

Para unir el eje del agitador y el motoreductor se utilizara un buje con chaveta y tornillo prisionero, las dimensiones de esta chaveta se seleccionan de la tabla siguiente:

Tabla 3. Tamaño de cuña contra tamaño de flecha.

Diámetro nominal de la flecha			Tamaño nominal de la cuña	
Mas de	Hasta (incluso)	Espesor	Cuadrada	Rectangular
5/16	7/16	3/32	3/32	
7/16	9/16	1/8	1/8	3/32
9/16	7/8	3/16	3/16	1/8
7/8	1 ¼	¼	¼	3/16
1 ¼	1 3/8	5/16	5/16	¼
1 3/8	1 3/4	3/8	3/8	5/16
1 3/4	2 1/4	½	½	3/8
2 1/4	3 ¼	5/8	5/8	½
3 ¼	3 ¾	¾	¾	5/8
3 ¾	4 ½	7/8	7/8	¾
4 ½	5 ½	1	1	7/8
5 ½	6 ½	1 1/4	1 1/4	1
6 ½	7 ½	1 ½	1 ½	1 1/4
7 ½	9	1 ¾	1 ¾	1 ½
9	11	2	2	1 ¾
11	13	3	3	2
13	15	3 ½	3 ½	3
15	18	4		3 ½
18	22	5		4
22	26	6		5
26	30	7		6
				7

Nota: se recomiendan los valores que no aparecen sombreados. Las dimensiones están en pulgadas.

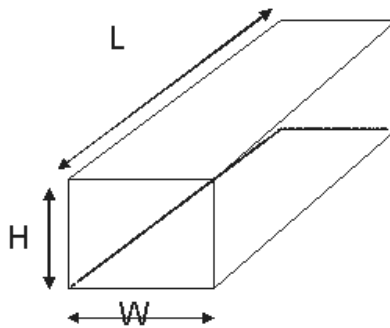
Fuente: MOTT Robert L. Diseño de elementos de Maquinas. México. Prentice hall. 1995 p 457.

Para un diámetro de 1 pulgada, el tamaño de cuña recomendada es una cuadrada de ¼ de pulgada.

◆ Longitud de la Cuña de unión.

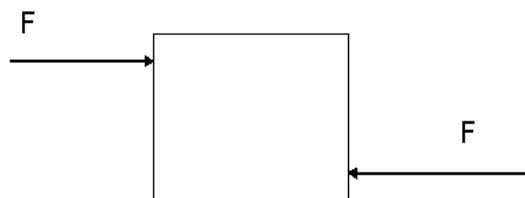
En la siguiente figura se puede ver la cuña a dimensionar de esta cuña ya se tienen la Altura  $H = 1/4$  pulgada y el espesor  $W = 1/4$  pulgada.

Figura 28. Dimensiones principales de una cuña.



Para calcular la longitud  $L$  se tiene que el estado de cargas sobre la cuña es el mostrado en la siguiente figura:

Figura 29. Fuerzas sobre una cuña a torsión.



La magnitud de esta fuerza de corte es  $F = T / (D/2)$ .

Donde:

T torque a transmitir por el eje y D el diámetro del eje.

Reemplazando los valores correspondientes para este caso:

$$F = \frac{T}{D/2}$$
$$F = \frac{137 \text{ Lb} - \text{Pulg}}{\frac{3/4}{2} \text{ Pulg}} = 365.33 \text{ Lb}$$

El esfuerzo de corte en la cuña es:

$$\tau = \frac{2T}{DWL}$$

Tomando  $\tau_{\text{diseño}} = 0.5 S_y/N$  con  $N = 3$ , recomendado para aplicaciones industriales<sup>20</sup> Para el acero inoxidable 304  $S_y = 35 \text{ Ksi}$

Calculando  $\tau_{\text{diseño}} = 5.83 \text{ Ksi}$ . Reemplazando este valor y con  $T = 137 \text{ Lb-pulg.}$

$D = 3/4 \text{ pulg.}$   $W = 1/4 \text{ Pulgada}$  se calcula la longitud de la cuña L.

$$\tau = \frac{2T}{DWL}$$

$$5.83 * 10^3 = \frac{2 * 137}{1 * 1/4 * L}$$

Resolviendo la ecuación anterior  $L = 0.2 \text{ pulg.}$  Se decide colocar una longitud de cuña de  $1/4$  de pulgada.

---

<sup>20</sup> MOTT Robert L. Diseño de elementos de Maquinas. México. Prentice hall. 1995 p 358.

◆ Tornillo prisionero.

Para seleccionar el diámetro del tornillo prisionero o de sujeción se utiliza la siguiente tabla:

Tabla 4. Capacidad de fuerza de tornillos de ajuste.

Diámetro del tornillo	Fuerza de Sujeción
1/4 pulg.	100 Lb
3/8 pulg.	250 Lb
1/2 pulg.	500 Lb
3/4 pulg.	1300 Lb
1 pulg.	2500 Lb

Fuente: MOTT Robert L. Diseño de elementos de Maquinas. México. Prentice hall. 1995 p 367.

De la tabla anterior se selecciona un diámetro de  $\frac{1}{4}$  de pulgada para el tornillo de ajuste que se ubicará en el acople entre el eje del agitador y el motoreductor.

En resumen, el acople entre el eje del agitador y el motoreductor será:

- ◆ Chaveta cuadrada de  $\frac{1}{4}$  por  $\frac{1}{4}$  pulgada de longitud.
- ◆ 1 tornillo prisioneros de  $\frac{1}{4}$  de pulgada de diámetro.

◆ **Acople para el eje y la hélice.**

El acople entre la hélice y el eje del agitador sigue un procedimiento igual al

anterior, los valores al realizar este cálculo son:

- ◆ Chaveta cuadrada de  $3/16$  por  $1/4$  pulgada de longitud.
- ◆ 1 tornillo prisioneros de  $1/4$  de pulgada de diámetro.

◆ **Dimensiones para el cubo de la hélice.**

Con el diámetro de eje ya definido se procede a dimensionar el cubo de la hélice. La altura mínima del cubo esta dada por la altura de la hélice la cual es 3 cm; con el fin de ser conservativos se selecciona una altura de 3.81 cm, 1.5 pulgadas en el mismo material del eje. El diámetro exterior del cubo se selecciona igual al doble del diámetro interior de este. En resumen:

Diámetro interior.  $3/4$  pulgadas.

Diámetro exterior:  $1\ 1/2$  de pulgada.

Altura del cubo:  $1\ 1/2$  pulgada.

◆ **Estructura de soporte para el sistema de potencia del agitador.**

El sistema de potencia del agitador esta conformado por el motoreductor el eje y la hélice. La posición de trabajo del motor será vertical su ubicación es encima del agitador, centrado. Debido a esto se requiere de una viga en donde se fije la brida o flanche que trae el motoreductor. Para cumplir con estos requerimientos se dispondrán dos vigas en paralelo que se fijaran al borde superior del recipiente

La condición geométrica que debe cumplir esta viga es:

♦ Su diámetro debe ser un poco mayor que la distancia entre los centros de los tornillos que se acoplarán al flanche que el motoreductor para trabajo vertical trae de fábrica.

La distancia entre el centro de los tornillos del flanche que trae el motoreductor es de 130 mm con un diámetro de agujero de 9 mm.

La viga se encuentra en una condición estática por lo que se diseña con la teoría de esfuerzos permisibles

**♦ Cálculo del espesor de los parales de soporte del sistema de potencia.**

Las cargas sobre los párales son: el peso del motoreductor, y parte del peso del eje con la hélice, para fines de cálculo se asume que la viga soporta todo el peso del eje y de la hélice.

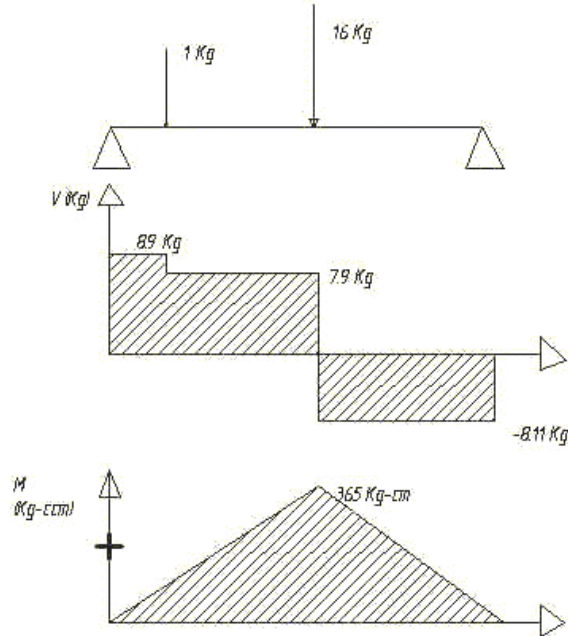
Peso del motoreductor = 11 Kg

Peso del eje y la hélice = 5 Kg.

Peso del compresor = 1 Kg.

Estos parales se modelan como una viga en dos apoyos simples. Las cargas y los respectivos diagramas de cortante y momento flector de esta viga se muestran en la siguiente figura:

Figura 30. Viga de soporte para el sistema de potencia.



Con el momento flector máximo 365 Kg-cm, 316 Lb-pulg. Y utilizando un esfuerzo admisible para el acero inoxidable 304 de 17.5 Ksi, factor de seguridad  $N = 2$ .

$$\sigma_{\text{permisible}} = 17500 \dots \text{Psi.}$$

$$\sigma_{\text{máximo}} = \frac{M_{\text{máximo}} c}{I}$$

$$\frac{17500}{2} = \frac{316 * c}{I}$$

$$\frac{I}{c} = 1.81 * 10^{-2} \text{ pulg}^3$$

Este valor de modulo de sección ( $I/c$ ) es el mínimo que debe tener la viga para soportar las carga con este valor se va a las tablas y se selecciona el perfil requerido.

El perfil a seleccionar es un ángulo con el anterior valor de modulo de sección se elige el ángulo de 1"X1"X1/8" que tiene un modulo de sección de  $2.99 \cdot 10^{-2}$  pulg<sup>3</sup>. Debido a que la posición de trabajo del motor es vertical y la distancia entre los centros de sus tornillos de acople tienen una longitud de 130 mm esta será la distancia a la que estarán espaciados los centros de los perfiles seleccionados.

Las dimensiones finales para esta viga se pueden ver en el plano 01001

### **5.6.3 Celda de flotación**

El agitador cumple con los requerimientos de humectación y desfibrado del papel, faltando así el proceso de destintado de la pulpa de papel ya formada, en esta sección se diseñará el equipo necesario para el destintando. En la literatura consultada, el proceso más utilizado y de mayor rendimiento para el destintado del papel es la flotación. La flotación consiste básicamente en agitar la pulpa e introducir por el fondo un flujo de aire que actúa con la ayuda de un tensoactivo encapsulando las partículas de tinta dispersas formando así en la superficie una espuma que contiene la tinta desprendida del papel, esta espuma debe ser retirada y tratada adecuadamente para evitar daño ecológico, como contaminación de aguas.

En la revista de la TAPPI (Asociación internacional de técnicos en pulpa y papel) volumen 82 N° 3 de Marzo de 1999 se encontró la siguiente ecuación

por medio de la cual se puede predecir el factor de flotación de acuerdo con las principales variables del proceso, en este diseño se utilizará esta ecuación para hallar los requerimientos en el caso específico del taller.

$$E = 0.21 * C^{0.70} * N^{0.74} * q^{0.07}$$

Donde E es el Factor de Flotabilidad, C la consistencia en porcentaje del papel a destintar N las revoluciones por minuto de agitador utilizado y q el caudal de aire en litros por hora que se debe introducir por el fondo al agitador.

En el taller se diseña con los siguientes requerimientos:

$$E = 100$$

$$C = 5 \%$$

$$N = 450 \text{ rpm}$$

De acuerdo con esto se encontrará el caudal de aire necesario que se deberá introducirse a la pulpa para lograr el destintado por flotación reemplazando y resolviendo la anterior ecuación se halla que el caudal necesario es de 1644.61 Litros/hora, aproximadamente 1 cfm.

Para cumplir con este caudal de aire se utilizará un compresor.

**•Requerimientos para el compresor.**

Para seleccionar un compresor se requiere básicamente el desplazamiento y la presión a la salida de este.

•Presión de trabajo.

$$P_A = H_{\text{hidrostática}} + P_{\text{pérdidas.}}$$

$$P_h = \rho gh$$

$\rho = 1200 \text{ Kg/m}^3$  densidad aproximada de la pulpa del papel en el taller.

$h = 0.9$  altura máxima de fluido

$g =$  gravedad  $9.81 \text{ m/seg}^2$ .

Reemplazando y solucionando se obtiene una  $P_h = 10594.8 \text{ Pa} = 1.54 \text{ psi}$ .

La presión de pérdidas se asume como un 10 % de la Hidrostática.

$$P_{\text{requerida}} = 1.1 * 1.54 = 1.69 \text{ psi.}$$

Con esto los requerimientos para el compresor son:

Caudal: 1 cfm.

Presión: 1.69 psi Aproximando 2 psi.

Con estos requerimientos se encuentra en el mercado local que lo que se necesita es un sistema similar al utilizado para airear los acuarios, seleccionando así el compresor Elite 802 de 110 v que da los siguientes características Presión de salida 4 psi y el caudal de Salida 70 litros/min. =2.472 cfm.

El equipo se ubicara en la misma viga que sostiene el sistema de potencia a un lado de este. Y la forma de hacer llegar el aire al fondo será por medio de una manguera de 1/8 de pulgada de diámetro adecuadamente distribuida en el fondo del agitador.

Para recoger la espuma del destintado se utilizara un cucharón de cocina tradicional, a esta espuma se le deberá dar un tratamiento adecuado con el fin de evitar daños ecológicos.

### ◆ Agua residual del destintado por flotación

La espuma que se produce en el proceso de flotación tiene un alto contenido de tinta por lo que debe ser tratada como materia orgánica que si se deja ir directamente al alcantarillado puede perjudicar los efluentes, aunque la capacidad instalada de la planta es pequeña con el fin de evitar la contaminación de efluentes se diseñara un tanque para darle un tratamiento adecuado antes de echar esta agua al alcantarillado, en este tanque se harán los proceso de filtración, aireación y sedimentación.

#### •Filtración

La filtración de la espumas en este caso consiste en hacerla pasar por una malla muy fina para que en esta se queden las partículas de un tamaño mayor al de los agujeros de la malla.

#### •Aireación.

En esta etapa se liberan sustancias volátiles por la descomposición de materias orgánicas. Lo fundamental es la toma de oxígeno de la atmósfera para oxidar metales presentes y separar el agua del anhídrido carbónico así se previene la corrosión. En el agua aireada, los gases se han disuelto hasta llegar al equilibrio, en el que el contenido de gas en el agua es proporcional a la presión parcial de la atmósfera para realizar esta función se utilizara un tanque abierto a la atmósfera.

- Sedimentación.

La sedimentación es el proceso mediante el cual se da la separación de las partículas suspendidas más pesadas que el agua por medio de la gravedad. El propósito de la sedimentación es obtener un efluente clarificado, pero también se hace necesario producir un fango con una concentración de sólidos que puede ser tratado con facilidad.

- ◆**Recipiente para tratamiento de la espuma de destintado.**

Los requisitos que debe cumplir el tanque son los implicados en los procesos de filtración, aireación y sedimentación. Con respecto a la filtración el recipiente debe soportar en su parte superior una malla en la cual se quedarán las partículas de mayor tamaño. Para el recipiente a ubicar en el taller se selecciona una malla en plástico cuyos agujeros son de 1 milímetro de diámetro, esta malla también debe permitir ser fácilmente removida para su limpieza. El principal requisito de la aireación es dar la mayor cantidad de contacto posible entre el agua y el aire atmosférico para permitir el intercambio de oxígeno, por esta razón se diseñara un recipiente de forma cuadrada. El requisito de la sedimentación es que la salida del agua clarificada este por encima del fondo del recipiente con el fin de permitir que se vaya formando el fango que luego será colocado al sol y tratado como un residuo sólido.

- ◆**Diseño del recipiente para la espuma del destintado.**

Asumiendo que el 2 % del volumen de pulpa de la producción diaria se

vaya en el proceso de desespumación en el destintado se calcula el volumen que debe tener el recipiente para el tratamiento de esta espuma.

Volumen de pulpa diario = 1.03 m<sup>3</sup>.

Volumen requerido del tanque = 1.03\*0.02=0.0206 m<sup>3</sup> =1257.1 pulg<sup>3</sup>.

La longitud de un lado si todos los lados son iguales es:

$$B = \sqrt[3]{\text{Volumen}}$$

Para el volumen de 0.0206 m<sup>3</sup> B =0.27 m

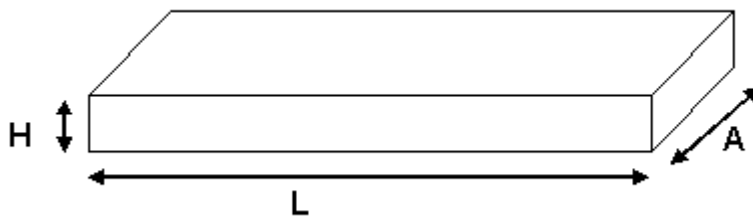
Las relaciones recomendadas<sup>21</sup> son:

Lado mas largo =1.5\*B

Lado mas corto = 0.667 B.

Con estas recomendaciones.

Figura 31. Recipiente para espuma de destintado.



---

<sup>21</sup>MEGYESY Eugene F. Manual de cálculo para recipientes a presión. México. Limusa. 1998 P 42

$$L = 1.5 \cdot 0.27 = 0.41 \text{ m}$$

$$A = B = 0.27 \text{ m.}$$

$$H = 0.667 \cdot 0.270 = 0.18 \text{ m.}$$

Para calcular el espesor de este tanque se utiliza la siguiente ecuación:

$$t = 2.45L \sqrt{\frac{\alpha H 0.036 G}{S}}$$

Donde:

L Longitud del tanque en pulgadas

$\alpha$  Factor que depende de la relación de la longitud a la altura del tanque, H/L (ver gráfica en el anexo D)

H altura del tanque en pulgadas.

G gravedad específica del líquido.

S Valor del esfuerzo de placa, lb/pulg<sup>2</sup>. Ver tabla en el anexo E.

Para este caso:

$$L = 0.41 \text{ m} = 16.14 \text{ pulg.}$$

$$\text{Con } H/L = 0.42 \qquad \alpha = 0.005$$

$$H = 0.18 \text{ m} = 7.1 \text{ pulg.}$$

$G \approx 1$  agua con jabón y tinta.

$S = 18.8 \text{ Ksi}$  para el acero inoxidable 304.

Reemplazando valores en la ecuación para el espesor y calculando.

$$t = 1.03 \cdot 10^{-2} \text{ pulg} = 0.3 \text{ mm}$$

Con este espesor se va a la tabla de láminas para el acero inoxidable 304 y se selecciona una lámina de calibre 30.

Este recipiente se cotizo en acero inoxidable y en plástico y debido a la diferencia en precios se elige el de plástico.

### **5.7 BANDA PARA TRANSPORTE Y ESCURRIDO DE LAS HOJAS.**

Después de destintada la pulpa, esta es llevada a las tinas por una tubería y debido a la diferencia de altura existente entre la ubicación proyectada para el agitador y las tinas en el taller no se requiere bomba para su transporte. Una vez la pulpa en la tina sigue el proceso de elaboración de la hoja por el sistema tina bastidor descrito anteriormente. La nueva hoja se debe hacer llegar a la mesa de apilación para en esta formar pilas de hojas que luego serán llevadas a la prensa. Con el fin de transportar, permitir la pérdida de humedad y evitar el desperdicio de agua en el taller se diseñara una banda transportadora en la cual se colocaran las hojas al momento de salir del sistema de tina bastidor.

Los requerimientos que debe cumplir la banda son los siguientes:

- ◆ Permitir el transporte de las hojas desde la salida de las tinas hasta una mesa en donde se apilarán para luego ser llevadas a la prensa de conformación y secado.

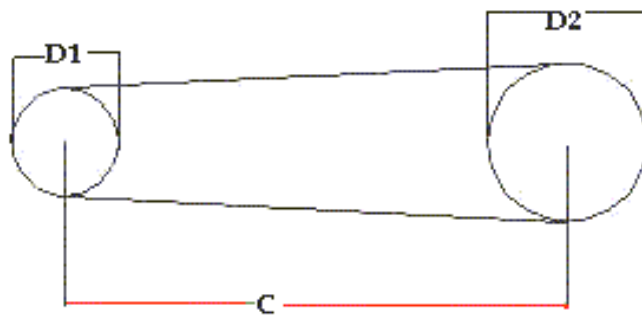
- ◆ Promover la pérdida de humedad de las hojas a la vez que evitar el desperdicio y reguero de agua en las instalaciones del taller por medio de un escurrido mientras se esta transportando la hoja.
- ◆ Separar el proceso de producción de hojas en las tinas y el de prensado permitiendo así un mayor nivel de producción.

Con estos requisitos se procede al cálculo de la geometría adecuada para la banda teniendo en cuenta las dimensiones de la instalación y las medidas mínimas.

La longitud de banda requerida se halló al proyectar la distribución de las tinas en el taller. Con esto la distancia entre los centros de los rodillos extremos de la banda es de 610 cm.

### 5.7.1 Cálculo de la longitud de banda requerida.

Figura 32. Longitud de la banda.



$$L = 2C + \frac{\pi}{4}(D_1 + D_2) + \frac{(D_1 - D_2)^2}{4C}$$

Para determinar la longitud distancia entre centros de la banda transportadora se tuvo en cuenta la siguiente consideración:

- ◆Ubicación y distancia entre las tinas por donde pasara la banda, permitiendo que la distancia entre tinas sea de 120 cm que es el espacio adecuado para operar sin interferencias. El plano de la distribución de planta se puede apreciar esto en detalle.

Con las consideración anterior la longitud entre centros (C) necesaria para la banda es de 6.1 m. Debido a recomendaciones dadas en el catalogo del fabricante de bandas. El diámetro externo de los rodillos a utilizar debe ser mínimo de 4 pulgadas, por lo tanto  $D_1 = D_2 = 4$  pulg.

Reemplazando estos valores en la ecuación anterior

$$L = 2 * 6.1 + \frac{\pi}{4} (0.1016 + 0.1016) + \frac{(0.1016 - 0.1016)^2}{4 * 6.1}$$

La longitud de banda requerida es de  $L = 12.36$  metros.

El ancho de banda esta dado por el ancho de la hoja a transportar el cual es de 36 cm a la banda por lo cual se le selecciona un ancho de banda de 40 cm.

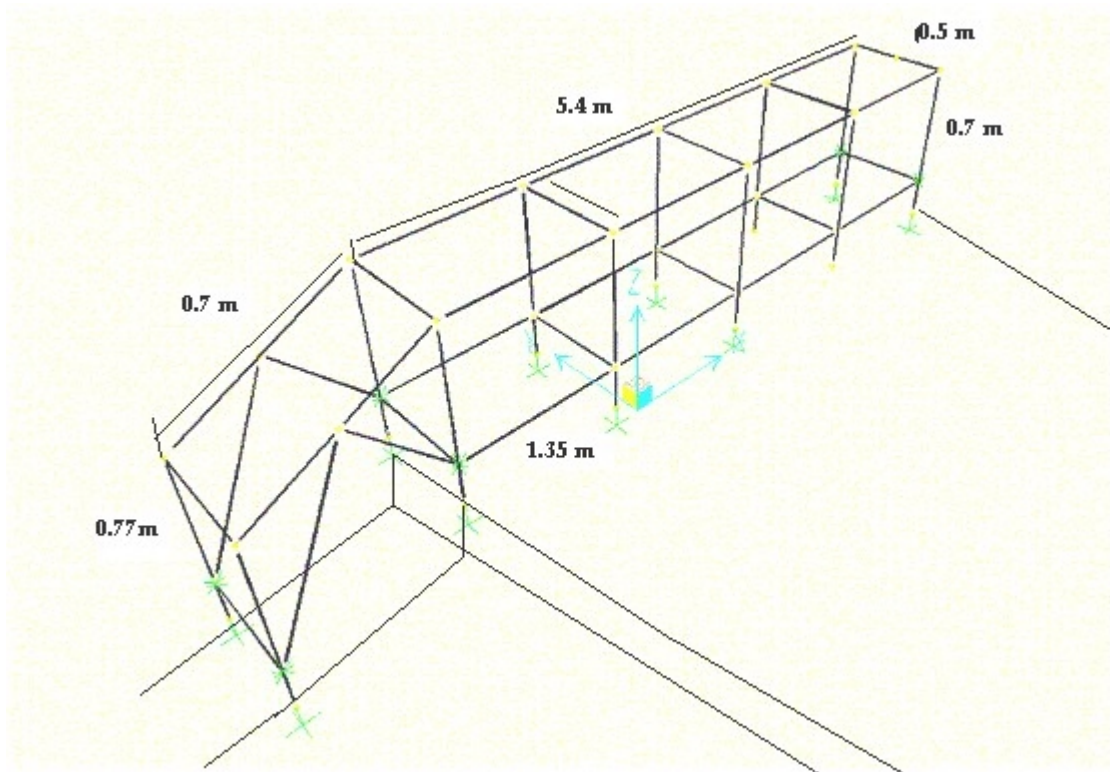
### **5.7.2 Geometría para soporte de la banda.**

Para el dimensionamiento de esta se tuvo en cuenta la longitud entre centros

de la banda, el ancho de banda requerido y las condiciones del taller en el sitio donde se va a ubicar la banda.

En la siguiente figura se muestra las dimensiones principales para la estructura de soporte de la banda.

Figura 33 . Dimensiones principales para la estructura de la banda.



### 5.7.3 Selección del material de la banda.

Debido a las condiciones de trabajo con alta humedad, se selecciona una banda en PVC. Con esta consideración se preselecciona la banda de

referencia 2M8UOV5 fabricada por CHIORINO, para ver las propiedades de esta banda se puede remitir al anexo F.

- ◆ El peso de la banda seleccionada es de 2 Kg/m<sup>2</sup>. Con una longitud total de banda de 12.36 y un ancho de 0.4 el peso de la banda es de 10.87 Kg.
- ◆ Su resistencia a la tracción al 1% es de 8 N/mm y la máxima admisible es de 16 N/mm.

Para el PVC el factor de fricción del lado deslizamiento con tambor de acero 0.4 y para tambor forrado 0.6.

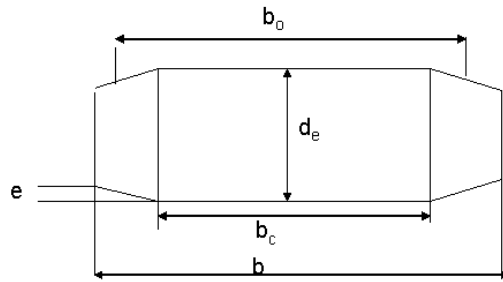
#### **5.7.4 Peso del material a transportar sobre la banda.**

La distancia entre centros de la banda es de 6.1 m, cada hoja tiene 56X36 cm. Dividiendo la distancia entre centros de la banda, 6.1 m, entre el largo de la hoja 0.56 m se obtiene el número máximo de hojas que caben en la banda sin estar unas encima de otras, el resultado son 11 hojas. El peso de cada hoja es de aproximadamente 0.17 Kg por lo que el peso de las 11 onces hojas es de 1.86 Kg.

#### **5.7.5 Rodillos motores.**

Como se expreso anteriormente el diámetro externo seleccionado para estos rodillos es de 4 pulgadas. Con este diámetro y el ancho de la banda se define la geometría de estos rodillos. La ubicación de este rodillo es en el extremo de la parte inclinada de la estructura de la banda.

Figura 34. Forma de construcción de los rodillos.



En la figura anterior:

- $b$  ancho del rodillo.
- $b_c$  ancho parte cilíndrica tambor
- $b_o$  ancho banda
- $d_e$  diámetro exterior.
- $e$  conicidad

◆ Para el cálculo del ancho del tambor se utiliza la siguiente ecuación:

$$b = 1.1 \cdot b_o + 10 \text{ [mm]}.$$

En este caso  $b_o = 400$  mm ancho de la banda.

$$b = 1.1 \cdot 400 + 10 = 450 \text{ mm}.$$

◆ Para el cálculo de de la conicidad:

$$e = \frac{d_e + 100}{500} \text{ [mm]}. \text{ Con el diámetro externo del tambor seleccionado } d_e = 4$$

pulg. = 101.6 mm. Reemplazando este valor en la formula anterior:

$$e = 0.4032 \text{ mm}$$

♦ **Cálculo de la parte cilíndrica con respecto al ancho total del tambor:**

$$b_c = \frac{b}{2} \text{ Con } b = 450 \text{ mm } b_c = 225 \text{ mm.}$$

El dimensionamiento final de rodillo motor se puede ver en la siguiente figura.

Figura 35. Dimensiones del rodillo motor.



En la figura anterior las dimensiones del diámetro del eje del rodillo son tentativas estas se verificarán por resistencia después de calcular la potencia necesaria para la banda.

Para la construcción de este rodillo se selecciona un tubo de acero al carbón que tenga un diámetro exterior de 4 pulgadas, el adecuado para esto es el tubo de diámetro nominal 3 ½ pulgadas con cédula 40. En la siguiente tabla se pueden ver las dimensiones principales del tubo seleccionado.

Tabla 5. Propiedades de Tubería de acero.

Diámetro nominal (pulg.)	Diámetro exterior (pulg.)	Diámetro interior (pulg.)	Peso (lb/ft)	Área Pulg <sup>2</sup>
3 1/2	4	3.548	9.11	2.68

Fuente. Ambrose James. Estructuras. México. Limusa. 1998 p 835.

El peso de este tubo para una longitud de 45 cm de 13.45 Lb = 6.1 Kg.

### 5.7.6 Rodillos auxiliares.

Estos son los rodillos ubicados a lo largo del recorrido de la banda y encargados de evitar la excesiva flexión en la banda debida al peso de esta y al peso del material a transportar como ya se mostró anteriormente el peso de las hojas a transportar es bajo, lo cual da libertad para seleccionar la distancia adecuada entre estos, los fabricantes recomiendan que la longitud mínima entre estos rodillos sea de 60 cm para este diseño de elige una distancia entre rodillos deslizantes de 90 cm. Para definir el diámetro de estos rodillos se debe tener en cuenta que este sea menor que el diámetro externo de los rodillos motores y que el diámetro del rodillo tenga el tamaño adecuado para evitar ejercer una acción de corte sobre la banda. Cumpliendo estas condiciones, se selecciona un tubo de acero con diámetro nominal de 1 1/2 pulgada. Las dimensiones principales de este tubo se dan en la siguiente tabla.

Tabla 6. Propiedades de Tubería de acero.

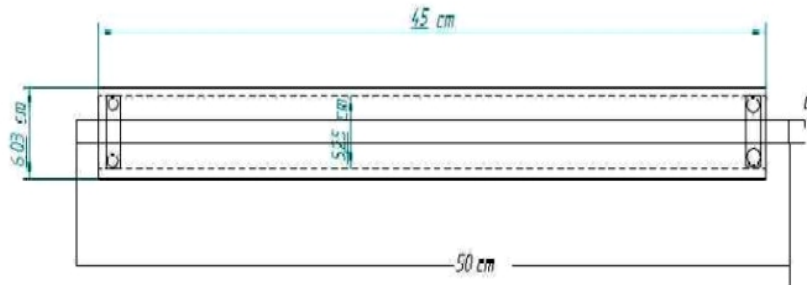
Diámetro nominal	Diámetro exterior	Diámetro interior	Peso (lb/ft)	Área
2 (pulg.)	2.375 (pulg.)	2.067 (pulg.)	3.65	1.07 Pulg <sup>2</sup>

Fuente. Ambrose James. Estructuras. México. Limusa. 1998 p 835.

El peso de este tubo para una longitud de 45 cm es de 5.38 lb = 2.44 Kg.

Las dimensiones de este rodillo se pueden ver en la siguiente figura.

Figura 36. Dimensiones del rodillo deslizante.



#### ◆ Selección del Rodamiento para el rodillo deslizante.

El criterio principal en este caso para la selección del rodamiento es geométrico y está dado por el diámetro interior del tubo seleccionado el cual es de 2,067 pulg. Se elige un rodamiento de bolas por ser este el que presenta menor coeficiente de fricción. El rodamiento de bolas de una hilera de ranura profunda adecuado para este diámetro es el NSK 6304.

Las dimensiones principales de este rodamiento se pueden ver en la siguiente tabla:

Tabla 7. Dimensiones principales para rodamiento NSK 6304.

Diámetro interior (mm)	Diámetro exterior(mm)	Ancho (mm)	Radio mínimo de entalladura (mm)	Masa Kg
20	52	15	1.1	0.104

Fuente: Catalogo de Rodamientos NSK.

Con el diámetro interno del rodamiento se selecciona el diámetro del eje para este rodillo, por lo cual el diámetro del eje del rodillo es de 20 mm y su longitud 50 cm. Para apreciar en detalle las dimensiones de este rodillo se puede remitir al plano 02005.

#### 5.7.7 Razón de carga sobre la banda.

Estimando que cada anciano gasta 3 minutos en colocar una hoja sobre la banda y como son 6 abuelos en esta labor, se tiene que se producen 2 hojas/minuto, por lo cual la producción en una hora será de 120 hojas/hora. Como cada hoja pesa 0.17 Kg, la carga sobre la banda es 20.4 Kg/hora.

$$C = 2.4 \cdot 10^{-3} \text{ ton/hr.}$$

#### 5.7.8 Velocidad de la banda.

Para calcular la velocidad de la banda se tuvo en cuenta que idealmente se esta colocando 1 hoja cada 30 segundos, la máxima distancia que deberá recorrer la hoja es de 540 cm que es la longitud de la banda en la su parte horizontal.

Con esto la velocidad de la banda es  $540\text{cm}/30 \text{ seg.} = 18 \text{ cm/seg} = 35.43 \text{ ft/min.}$

$$V_{\text{banda}} = 35.43 \text{ ft/min.}$$

### 5.7.9 Cálculo de potencia necesaria para la banda.

Con estas medidas se sigue el procedimiento para el cálculo de la potencia necesaria en la banda dado en un manual de Icobandas, fabricante de bandas nacional.

La tensión efectiva  $T_E$  se define como la fuerza transmitida por el motor cuando la banda se mueve en torno a la polea de accionamiento. Para el cálculo de esta tensión necesaria para mover una banda cargada en torno a un transportador, deben considerarse tres componentes a saber:

◆ Tensión necesaria para mover la banda vacía  $T_x$  en libras:

$$T_x = F_x L_c * G$$

$F_x$  Coeficiente de fricción de enrollamiento entre la banda y los rodillos deslizantes. Este valor se encuentra en las tablas de los fabricantes de bandas.

$L_c$  Valor ajustado de la distancia entre centros (L)

$$L_c = L \text{ para } L \leq 250 \text{ ft}$$

$$L_c = 0.55L + 115 \text{ para } L > 250 \text{ ft.}$$

$G$  = Peso en Lb/ft de las piezas en movimiento (rodillos deslizantes, poleas, etc.)

◆ Tensión necesaria para mover la carga en sentido horizontal  $T_y$  en libras.

$$T_y = F_y * L_c * Q$$

$F_y$  = coeficiente de fricción entre la banda y los rodillos deslizantes. Este valor se encuentra en las tablas de los fabricantes de bandas.

$Q$  razón de carga, en libras de carga por pie de distancia transportada:

$$Q = \frac{33.3C}{S}$$

$C$  = carga en ton/ hr.

$S$  = Velocidad de la banda en ft/min.

◆ Tensión necesaria para levantar o bajar la carga en libras :

$$T_z = H * Q$$

$H$  diferencia de altura entre el punto de descarga y el punto de carga, en pies.

Este componente de la tensión es positivo si se trata de levantar la carga, negativo si se trata de bajar la carga y cero si el transportador es horizontal.

La suma de las tres componente anteriores representa la tensión o fuerza total efectiva  $T_E$

$$T_E = T_x + T_y + T_z$$

El valor de  $T_E$  puede también ser expresado como la tensión que el motor o el mecanismo de transmisión debe producir para efectuar el transporte: la potencia requerida en la polea de transmisión es entonces:

$$HP = \frac{T_E * S}{33000}$$

Sin tener en cuenta la eficiencia en las reducción de velocidad.

◆ Tensión del lado de retorno ( $T_2$ ).

La tensión total efectiva ( $T_e$ ) en libras, es la tensión necesaria para mover la banda vacía, mover la carga en sentido horizontal y la tensión que resulta de levantar o bajar la carga. Esta no es, sin embargo, la tensión total que se ejerce sobre la banda. En sistemas de transmisión por fricción (transportadores, elevadores, bandas planas de transmisión y correas en V) hay que considerar una tensión adicional a fin de evitar el patinamiento en la polea de accionamiento. Esta tensión adicional es también la tensión de la banda en el lado de retorno. En unidades con tensores de contrapeso en las cuales se desconoce el peso o cuando el contrapeso esta colocado a alguna distancia de la transmisión y en unidades con tensor de tornillo, la tensión adicional del lado de retorno no puede determinarse con exactitud. Es posible estimarla mediante la siguiente ecuación:

$$T_2 = K \cdot T_E$$

$K$  = Factor de transmisión basado en el coeficiente de fricción, arco de contacto y tipo de tensor. Los valores de  $K$  para las diversas condiciones de transmisión se encuentran en la tabla siguiente:

Tabla 8. Factor de transmisión K basado en el coeficiente de fricción, arco de contacto y tipo de tensor.

Arco de contacto. (grados)	Transmisión	Tensor del tornillo		Tensor de gravedad	
		Polea desnuda	Polea revestida	Polea desnuda	Polea revestida
150	Sencilla	1.5	1	1.08	0.67
160	Sencilla	1.4	0.95	1.0	0.60
170	Sencilla	1.3	0.9	0.91	0.55
180	Sencilla	1.2	0.8	0.85	0.5
190	Con polea de arco	1.1	0.75	0.78	0.45
200	Con polea de arco	1.0	0.7	0.72	0.42
210	Con polea de arco	1.0	0.7	0.67	0.38
220	Con polea de arco	0.9	0.65	0.62	0.35
230	Con polea de arco	0.9	0.6	0.58	0.32
240	Con polea de arco	0.8	0.6	0.54	0.3
360	2 poleas en tándem	0.5	0.4	0.26	0.13
380	2 poleas en tándem	0.5	0.35	0.23	0.11
400	2 poleas en tándem	0.5	0.3	0.21	0.09
420	2 poleas en tándem	0.5	0.3	0.19	0.08
440	2 poleas en tándem	0.4	0.2	0.17	0.07
460	2 poleas en tándem	0.4	0.2	0.15	0.06

Fuente. Catalogo de Icobandas.

En las unidades equipadas con tensores de contrapeso colocados cerca de la transmisión y cuando se conoce el peso total del contrapeso se tiene que:

$$T_2 = \frac{\text{Peso total del contrapeso}}{2}$$

Tensión máxima ( $T_1$ ):

La tensión máxima se presenta cuando la banda entra en la polea de accionamiento y su valor es:

$$T_1 = T_E + T_2$$

◆ Tensión máxima unitaria ( $T_u$ ).

Por conveniencia, las bandas se clasifican de acuerdo con su tensión máxima de operación expresada en libras/pulgada de ancho. De ahí que:

$$T_u = \frac{T_1}{\text{Ancho de la banda}}$$

A continuación se aplicará el procedimiento descrito anteriormente para el cálculo de la potencia necesaria para la banda.

◆ Cálculo de  $T_x$

$$T_x = F_x L_c * G$$

$F_x$  Coeficiente de fricción de enrollamiento entre la banda y los rodillos deslizantes.  $F_x = 0.4$  a  $0.6$  para PVC con tambores en acero. Se toma  $0.6$  para este caso.

$L_c$  Valor ajustado de la distancia entre centros ( $L$ )

$$L_c = L \text{ para } L \leq 250 \text{ ft}$$

$$L_c = 0.55L + 115 \text{ para } L > 250 \text{ ft.}$$

$$L_c = 6.18 \text{ m} = 20.3 \text{ ft} < 250 \text{ ft entonces}$$

$$L_c = L = 20.3 \text{ ft.}$$

$G$  = Peso en Lb/ft de las piezas en movimiento (rodillos deslizantes, poleas, etc.)

Las piezas en movimiento y respectivo peso son:

**Rodillos motores**

$$P_{r\ m} = \text{Peso del tubo} + \text{peso del eje}$$

$$P_{r\ m} = 13.45 \text{ Lb} + 1 \text{ Lb} = 13.45 \text{ Lb}$$

**Rodillos deslizantes.**

Las partes en movimiento de este rodillo son:

Tubo y los rodamientos

$$\text{Peso del rodillo} = \text{peso del tubo} + \text{Peso rodamientos}$$

$$\text{Peso del rodillo} = 2.44 \text{ Kg} + 2 * 0.104 \text{ Kg} = 2.648 \text{ Kg} = 5.84 \text{ Lb.}$$

**Banda.**

Peso de la banda 10.87 Kg 23.96 Lb

Tabla 9. .Peso de los elementos en movimiento.

Elemento	Cantidad	Peso (Lb/ft)	Peso total(Lb/ft)
Rodillos Extremos y eje.	2	9.11	18.22
Rodillos deslizantes y rodamientos	6	3.96	23.73
Banda	1	18.26	18.26
Total			60.21

Reemplazando valores

$$T_x = F_x L_c * G$$

$$T_x = 0.6 * 20.3 * 60.21$$

$$\underline{T_x = 733,36 \text{ Lb.}}$$

◆ **Calculo de  $T_y$ .**

$$T_y = F_y * L_c * Q$$

$$F_y = 0.6 \text{ igual a } F_x .$$

$$L_c = 20.3$$

$$Q = \frac{33.3C}{S}$$

C = carga en ton/ hr.

S = Velocidad de la banda en ft/min.

Los valores de C y de S fueron calculados anteriormente y son:

$$C = 2.4 * 10^{-3} \text{ ton/hr.}$$

$$S = 35.43 \text{ ft-/seg}$$

$$Q = \frac{33.3C}{S}$$

$$Q = 33.3 * 2.4 * 10^{-3} / 35.43 = 2.26 * 10^{-3} .$$

Calculando  $T_y = F_y * L_c * Q$

$$T_y = 0.6 * 20.3 * 2.26 * 10^{-3}$$

$$\underline{T_y = 2.8 * 10^{-2} \text{ Lb}}$$

◆ **Cálculo de  $T_z$ .**

Para este caso H es igual a 37 cm = 1.21 ft.

$$T_Z = H * Q$$

$$\underline{T_Z = 1.21 * 2.26 * 10^{-3} = 2.74 * 10^{-3} \text{ Lb.}}$$

$T_Z$  es negativa debido a que el transporte de la carga es bajando

◆ **Cálculo de la tensión efectiva.**

Con los valores de las tensiones se calcula la tensión efectiva  $T_E = T_x + T_Y + T_z$ .

Reemplazando valores:

$$T_E = 733,36 + 2.8 * 10^{-2} + (-2.74 * 10^{-3}) = 733.4 \text{ Lb.}$$

$$\underline{T_E = 733.4 \text{ Lb.}}$$

Con este valor y la velocidad de la banda se calcula la potencia necesaria

$$HP = \frac{T_E * S}{33000}$$

$$HP = 733.39 * 35.43 / 33000 = 0.787 \text{ Hp}$$

La eficiencia de la reducción es aproximadamente 90%.

Potencia requerida por el motor:  $0.787 / 0.9 = 0.87 \text{ Hp}$  El motor necesario es uno de 1 Hp.

◆ **Tensión máxima.**

$$T_1 = T_E + T_2$$

$T_2 = 0$  No se utilizara contrapeso.

$$T_1 = T_E$$

◆ **Tensión máxima unitaria.**

$$T_u = T_1 / \text{ancho de la banda}$$

$$T_1 = 733.39 \text{ Lb} = 3268.28 \text{ Newton}$$

$$T_u = 1661.41 / 400 \text{ mm} = 8.16 \text{ Newton/mm.}$$

Este valor se compara con la resistencia a la tracción admisible para la banda seleccionada, en este caso el de la banda seleccionada es de 16 Newton/mm que es mayor que la resistencia requerida por lo que la banda seleccionada cumple con los requerimientos de tracción.

**5.7.10 Cálculo del eje del rodillo motor.**

Con el valor de la potencia ya calculado se procede a comprobar si el diámetro del eje del rodillo que se había seleccionado tentativamente soporta el torque que le proporcionará el sistema de reducción de velocidad.

◆ **Velocidad angular del rodillo motor.**

Con la velocidad de la banda ya especificada en 18 cm/seg y el diámetro

exterior del rodillo de 4 pulg. = 10.16 cm, se calcula la velocidad angular a la que gira el rodillo.

$$V = \omega * R$$

Donde V velocidad tangencial de rodillo en m/seg.

$\omega$  Velocidad angular en radianes por segundo.

R radio del rodillo en metros.

Utilizando la ecuación anterior se calcula  $\omega = 3.54$  rad/seg, 34 rpm.

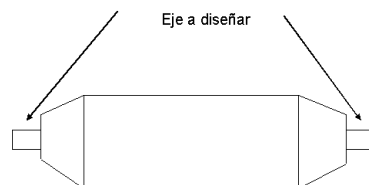
#### 5.7.11 Selección del motoreductor para la banda.

Con 1 HP y con 34 rpm de salida se selecciona un motoreductor marca SEW de 1 Hp 32.4 rpm de salida. Referencia RF 67 DT 80 N4 factor de servicio 2.5 Ver anexo G.

#### 5.7.12 Diseño del rodillo.

En la siguiente figura se muestra el rodillo motor y se señala el eje a diseñar:

Figura 37. Rodillo motor.



Las condiciones de carga sobre este rodillo es transmitir 1 hp a 34 rpm. Con estos valores se calcula el torque sobre este eje

$$P(\text{hp}) = \frac{T(\text{lb} - \text{pulg}) * N(\text{rpm})}{63000}$$

$$P = 1 \text{ hp}$$

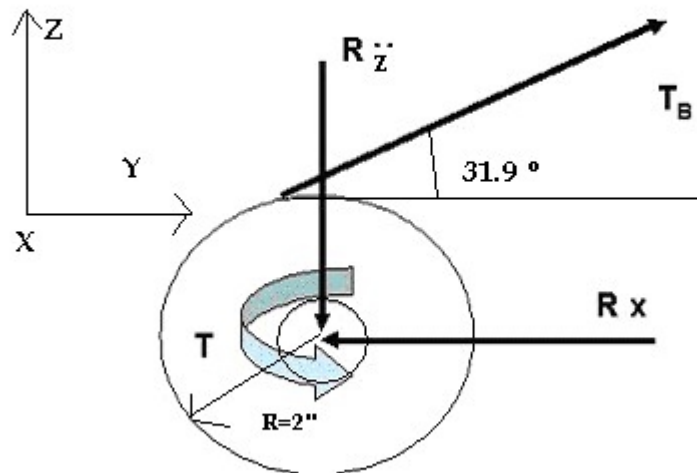
$$N = 34 \text{ rpm..}$$

Reemplazando

$$T = 1853 \text{ Lb} - \text{pulg.}$$

Con este torque se calcula las reacciones en el rodillo debidas a tensión en la banda.

Figura 38. Cargas sobre rodillo motor.



Para calcular los valores de las reacciones se aplican las ecuaciones de estática.

$$1) \sum T_x = 0$$

$$2) \sum F_x = 0$$

$$3) \sum F_y = 0$$

Reemplazando valores

Para la ecuación numero 1.

$$T = F_b * R$$

$$1856 = F_b * 2.54$$

$$F_b = 729.5 \text{ Lb} , = 331 \text{ Kg.}$$

$$R_x = F_b \text{ Cos } 31.9^\circ$$

$$R_y = F_b \text{ Sen } 31.9^\circ$$

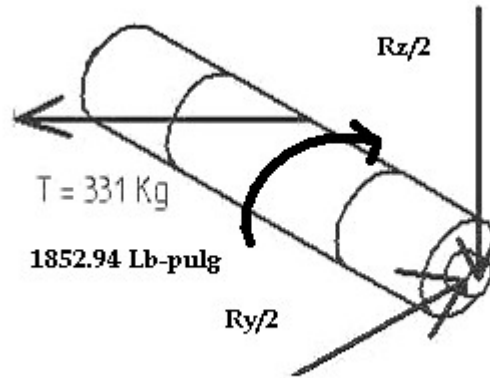
Reemplazando  $F_b$  y despejando

$$R_x = 281 \text{ Kg.}$$

$$R_y = 174.91 \text{ Kg.}$$

En la siguiente figura se puede ver el estado de cargas sobre el rodillo motor.

Figura 39. Estado de carga sobre rodillo motor.



Los diámetros mayor y menor de este rodillo propuestos anteriormente son:

$D = 4$  pulgadas.

$d = 1 \frac{3}{4}$  pulgadas.

Para este caso  $D/d = 2.3$

La zona crítica en este rodillo es el cambio de sección y es a esta a la que se analizara para hallar el diámetro mínimo requerido.

El material con el que se fabricará este rodillo será de acero A-36 para el cual el esfuerzo de fluencia  $S_y = 36 \text{ Ksi}$  y La resistencia ultima a la tracción  $S_u = 58 \text{ Ksi}$ . Con estos valores se va a la gráfica mostrada en el anexo H y se obtiene la resistencia por durabilidad de  $S_n = 25 \text{ Ksi}$ , debido a que el diámetro del eje es menor a  $50 \text{ mm}$  el factor de tamaño es  $C_s = 0.9$  Ver anexo I. Para una confiabilidad de  $99 \%$  el factor de confiabilidad es  $C_R = 0.81$ . La resistencia por durabilidad modificada es:

$$S'_n = S_n C_s C_R$$

$$S'_n = 25 \cdot 0.9 \cdot 0.81 = 18225 \text{ psi.}$$

Los diagramas de carga cortante y momento para el rodillo se muestran en las siguientes figuras para cada plano. Los puntos A y B corresponden a los cambios de sección.

Figura 40. Diagrama de carga sobre rodillo motor plano XY.

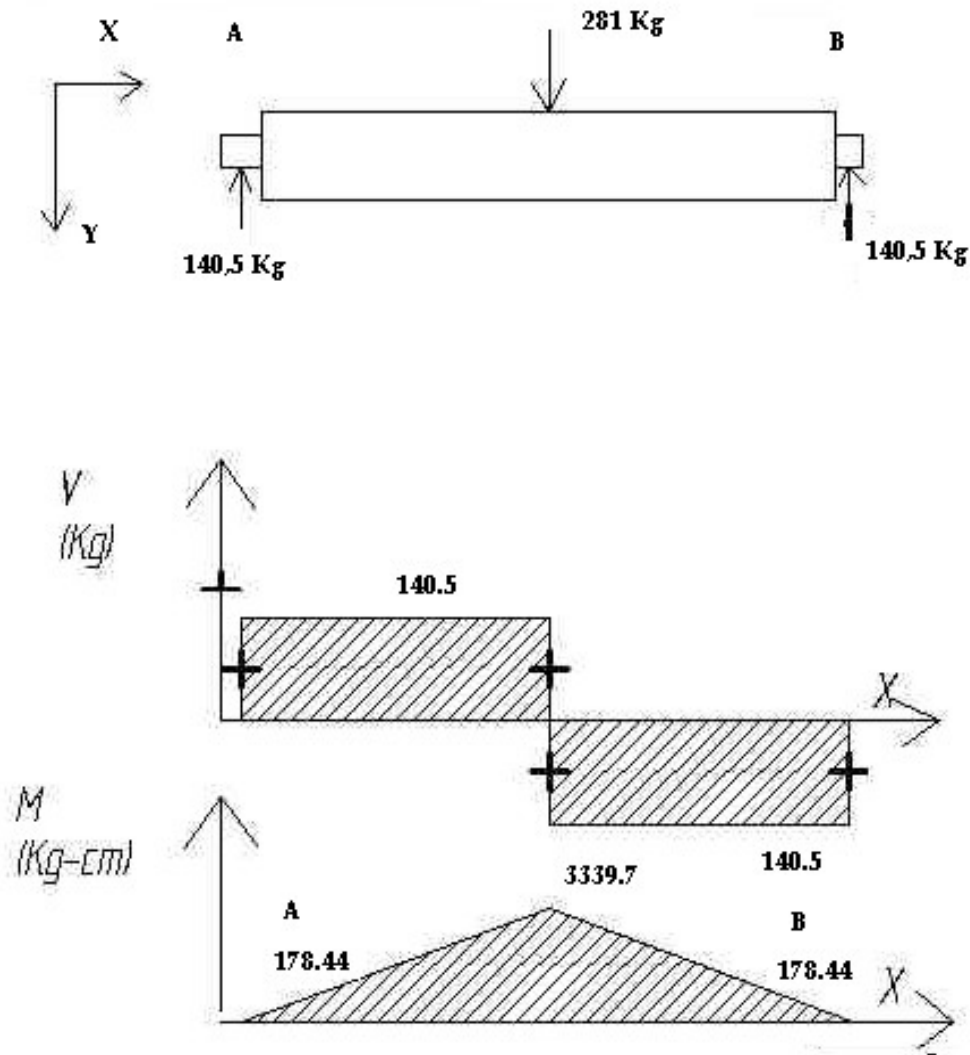
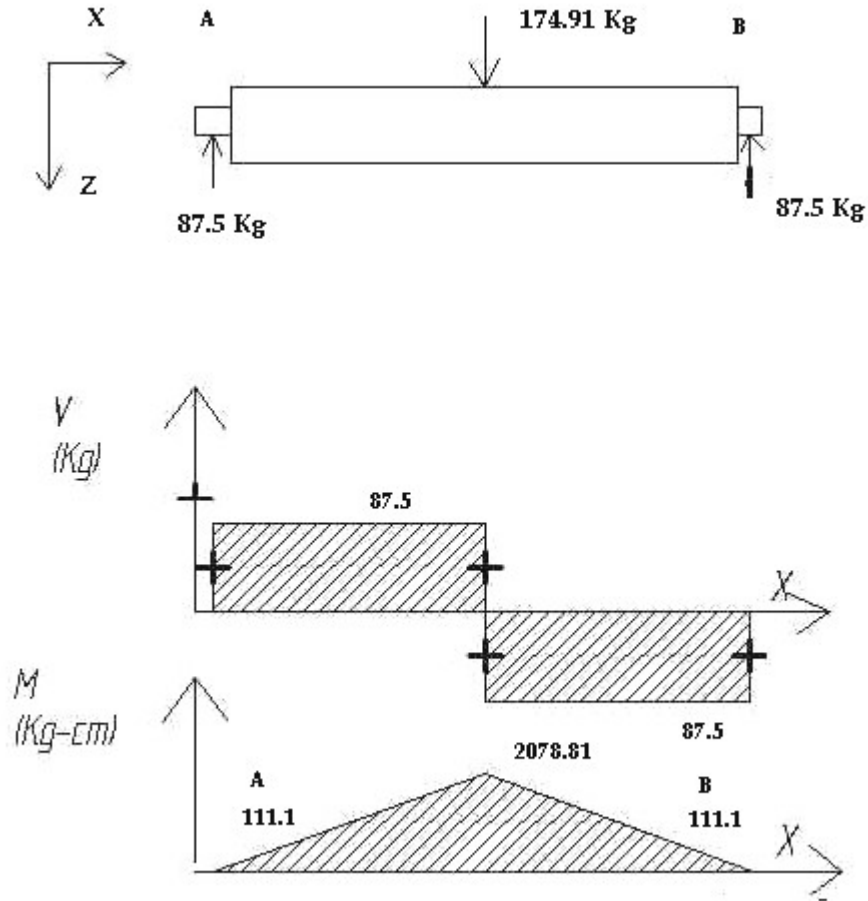


Figura 41. Diagrama de carga sobre rodillo motor plano X Z.



El momento resultante en el punto A es

$$M_A = \sqrt{M_{Ax}^2 + M_{Ay}^2}$$

$$M_A = \sqrt{111.1^2 + 178.44^2}$$

$$M_A = 210.2 \text{ Kg-cm} = 182.44 \text{ Lb-pulg.}$$

El torque sobre esta sección es  $T = 1852.94 \text{ Lb-pulg.}$

El factor de concentración por torsión  $K_t$  para una relación de  $D/d = 2.3$  y radio de entalladura de 0.35 pulgadas es 1.23

$$K_t = 1.23$$

$$D_A = \left[ \frac{32N}{\pi} \sqrt{\left( \frac{K_t M}{S'_n} \right)^2 + \frac{3}{4} \left( \frac{T}{S_y} \right)^2} \right]^{1/3}$$

Se selecciona un factor de seguridad  $N = 5$  pues se prevé que esta parte será soldada. Reemplazando valores en la ecuación anterior:

$$D_A = \left[ \frac{32 * 5}{\pi} \sqrt{\left( \frac{1.23 * 182.44}{18225} \right)^2 + \frac{3}{4} \left( \frac{1852.94}{36000} \right)^2} \right]^{1/3}$$

$$D_A = 1.33 \text{ pulgadas}$$

Este diámetro es menor que el diámetro propuesto de  $1 \frac{1}{2}$  "por lo tanto el eje no fallara. Las dimensiones finales de este rodillo se pueden apreciar en plano 02004.

### 5.7.13 Calculo de la estructura de soporte para la banda.

Las cargas que debe soportar la estructura de la banda se muestran en la siguiente tabla:

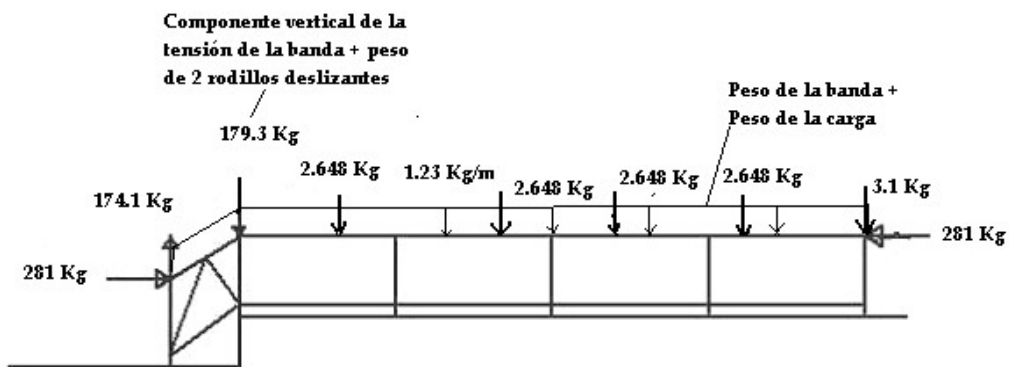
Tabla 10. Cargas sobre la estructura de la banda.

Elemento	Carga	Carga total Kg
Peso de la banda	2.2 Kg/m <sup>2</sup>	10.87 Kg
Peso de 11 hojas*	0.17*11=1.87 Kg	1.87 Kg
Peso de los rodillos motores.	3.1 Kg c/u	6.2 Kg
Peso de los rodillos 6 de deslizamiento.	2.648	15.88
Tensión de la banda	331 Kg	331 Kg
Componente horizontal	281 Kg	281 Kg
Componente Vertical	174.1 Kg	174.1 Kg

\*Asumiendo que la banda esta llena de hojas

La ubicación de estas cargas se puede ver en la siguiente figura:

Figura 42. Cargas sobre la estructura de la banda.



Con este estado de cargas se utiliza un software especializado en el cálculo

de estructuras con el fin de hallar la sección necesaria en los elementos constitutivos de esta.

Para calcular las secciones necesarias en la estructura anterior se dividió en dos luces una luz la parte inclinada y la otra la parte horizontal. Después de haber realizado esta simplificación se realizó el análisis determinando así dos tipos de sección para esta estructura los perfiles de los pares superiores se harán en ángulo de acero A - 36 de 1 ¼ X 1/8 de pulgada y los inferiores y verticales en ¾ "X 1/8". En las siguientes figuras se puede ver los resultados obtenidos con estas secciones y con todas las cargas solicitadas a la estructura. Los valores en un color diferente al rojo indican una relación entre la carga solicitada y la carga admisible menor que uno.

Figura 43. Chequeo para la parte horizontal de la banda.

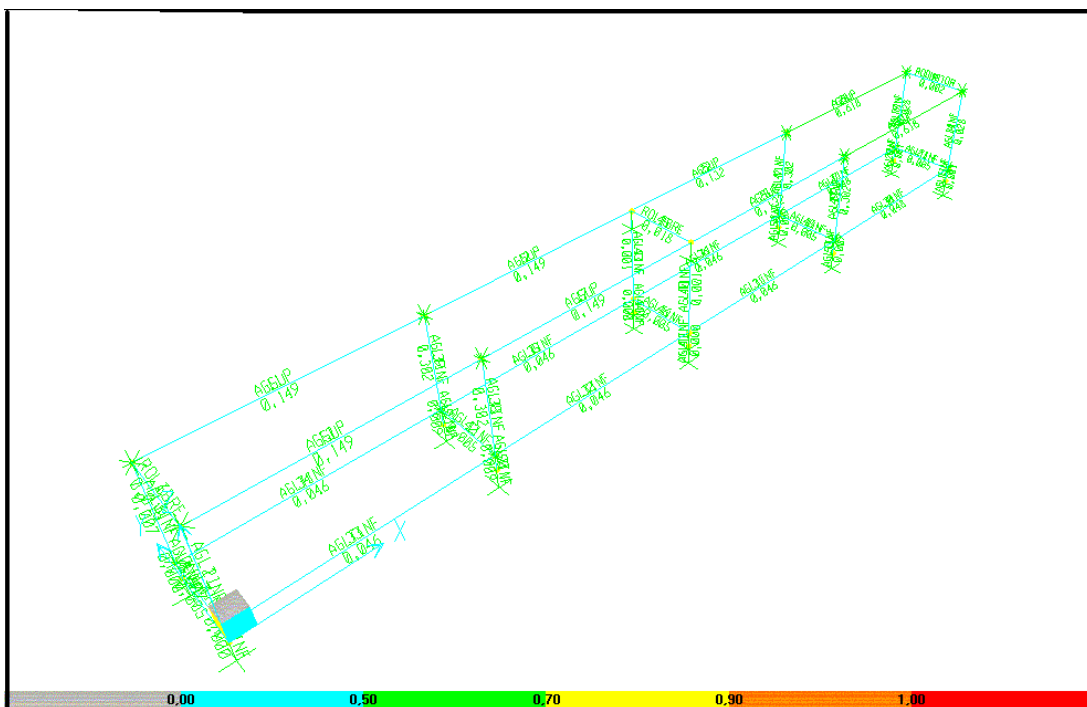
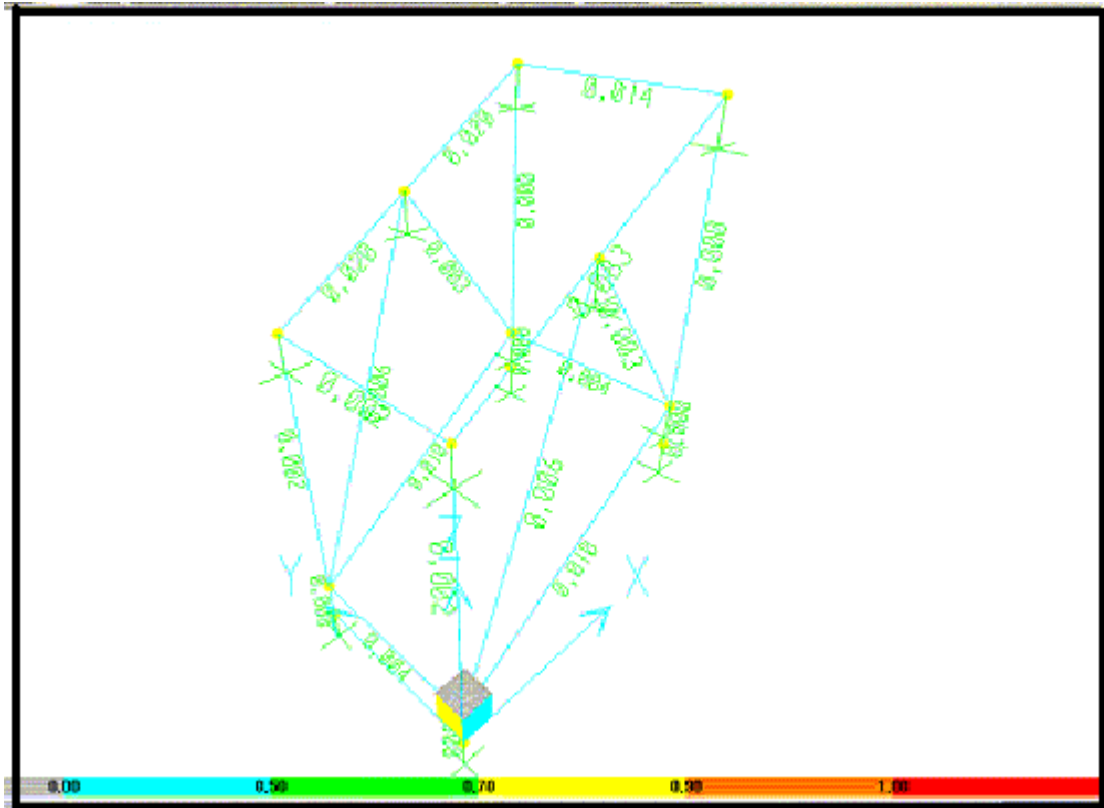


Figura 44. Análisis estructural para la parte inclinada de la banda.



Las dimensiones y geometría se pueden apreciar en los planos 02001 y 02002 para la parte horizontal e inclinada respectivamente.

#### 5.7.14 Bandeja recolectora de agua.

El agua que se escurre de las nuevas hojas y cae sobre la banda debe ser recogida para evitar su desperdicio y reguero para cumplir con esto se colocara una bandeja colectora por debajo de la banda en la cual caerá el agua y debido a una pequeña inclinación de esta el agua se descargara a un canal colocado en el borde de esta. El espesor de lámina para esta banda se elige de 1.5 mm calibre 16 en acero inoxidable 304.

La ubicación y dimensiones de esta bandeja se pueden ver en los planos 02000 y 02003 respectivamente.

## **5.8 MESAS DE TRANSFERENCIA DE TINAS A BANDAS.**

Como se había expresado anteriormente una de las principales funciones de la banda transportadora es la de evitar el derrame de agua y debido a que el sistema tina bastidor requiere una mesa de apoyo donde desmoldar la nueva hoja se hace necesario una superficie en donde se pueda realizar esta actividad y que a la vez también evite el derrame de agua. Para este fin se colocara una mesa de transferencia entre las tinas y la banda transportadora.

El dimensionamiento de esta mesa responde específicamente a condiciones geométricas dadas por el ancho de la mesa que soporta la tina y el largo del molde que se abrirá sobre esta. El ancho de la mesa de las tinas es de 80 cm, para esta mesa se selecciona 90 cm, el largo del molde es de 58 cm para la mesa se selecciona 70 cm. El calibre de lamina para estas mesas se selecciona de 1.2 mm Calibre 18.

Los soportes de la mesa serán por un lado anclados a la mesa de la tina y por el otro fijado a la estructura de soporte de la banda.

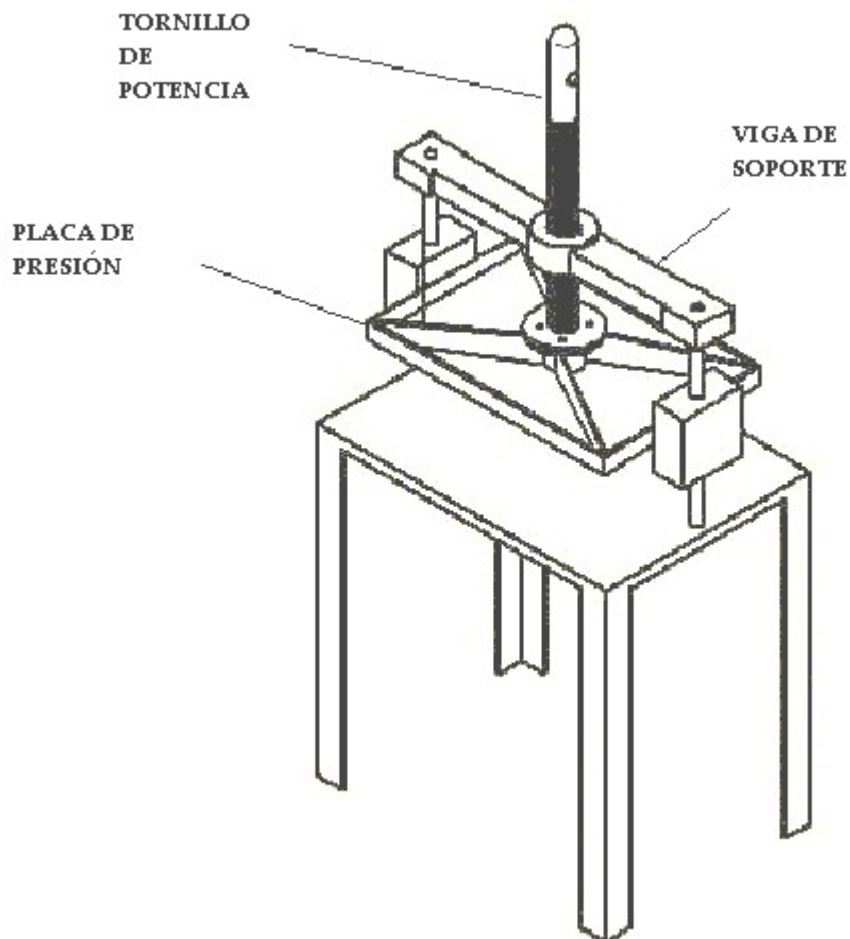
Para ver la forma final y la ubicación de esta mesa entre las tinas y la banda se puede remitir a los planos 05001 y 05003.

## 5.9 DISEÑO DE LA PRENSA.

Actualmente en el taller de la fundación ya existe una prensa manual para el prensado del papel.

En la siguiente figura se muestra la prensa existente y se señalan sus principales partes.

Figura 45. Prensa manual.



La prensa mostrada en la figura anterior fue evaluada con el fin de saber si sus dimensiones eran las adecuadas para el tamaño de las hojas que se van a producir, después de esto se concluyo que la prensa actual debía ser rediseñada pues la distancia entre centros de la placa de presión era menor que la necesaria para una buena operación de la prensado. En el rediseño de la prensa se tratará de utilizar al máximo los elementos constituyentes de la prensa existente.

Los elementos de la prensa que se rediseñarán son:

- ◆Viga de soporte.
- ◆Placa de presión.
- ◆Estructura de la prensa.

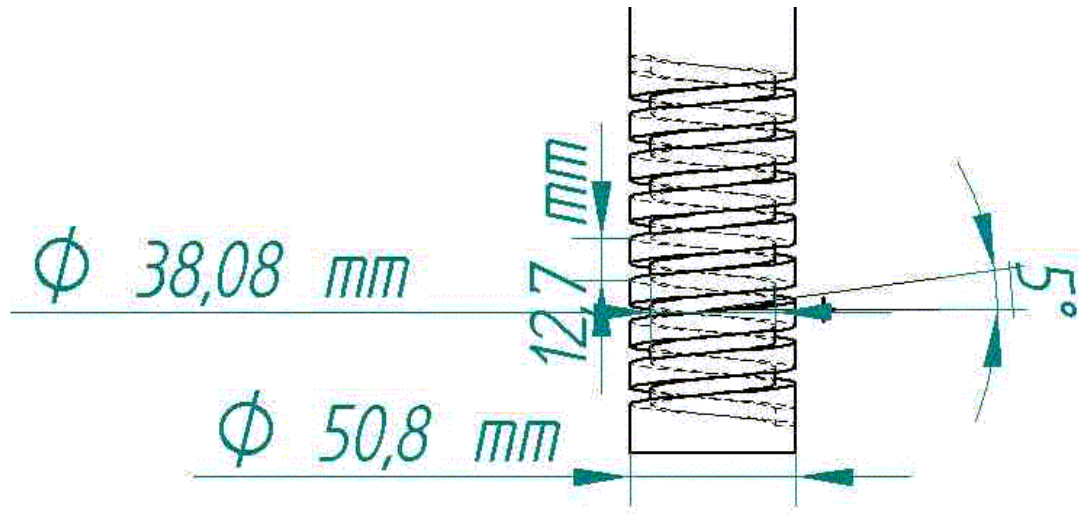
### **5.9.1 Rediseño de la viga de soporte.**

Para poder calcular esta viga es necesario saber el valor de la carga de empuje que puede dar la prensa.

### **5.9.2 Calculo de la fuerza de empuje dada por la prensa.**

Para hallar el valor de la fuerza de prensado que puede dar esta prensa se midió la geometría del tornillo de potencia existente, las dimensiones se pueden ver en la siguiente figura.

Figura 46. Dimensiones principales del tornillo de potencia.



De la Figura anterior:

Angulo de Hélice =  $5^\circ$ .

Paso 12.7 mm = 0.5 pulgadas

Diámetro exterior: 2 Pulgadas., 50.8 mm.

Diámetro interior: 1 ½ pulgadas, 38.08 mm.

Tornillo de una entrada.

Tornillo y tuerca en acero.

El torque de bajada de un tornillo de potencia, con un ángulo de hélice menor de  $12^\circ$ , sin collarín se evalúa a partir de:

$$T_b = \frac{d_m w}{2} \left[ \frac{F_s + \cos \theta_n \tan \alpha}{\cos \theta_n - F_s \tan \alpha} \right]$$

Donde:  $T_b$  = Torque del tornillo de potencia

$d_m$  = Diámetro medio del tornillo

$w$  = Carga o empuje del tornillo.

$F_s$  = Coeficiente de fricción entre la tuerca y el tornillo.

$P$  = Paso

$\theta_n$  = Angulo que forma la fuerza normal a la superficie del filete.

Con la siguiente ecuación se obtiene el diámetro medio.

$$\tan \alpha = \frac{P}{\pi d_m}$$

$$\tan 5 = \frac{0.5}{\pi d_m}$$

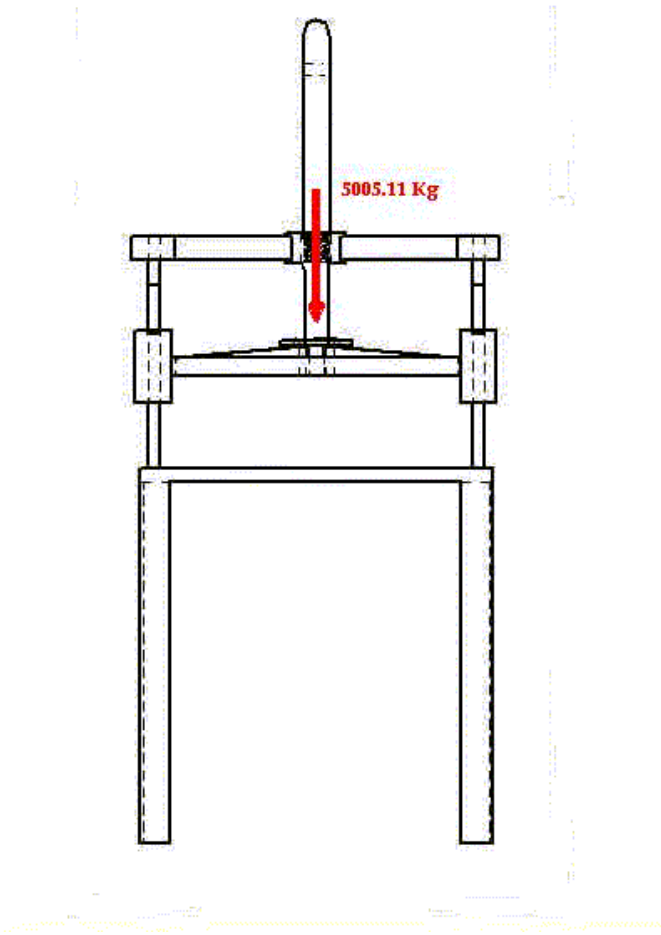
Al calcular el diámetro medio es 1.82 pulgadas, 4.62 cm; el coeficiente de fricción para acero con acero lubricado es 0.17; por ser rosca cuadrada el ángulo  $\theta_n = 90^\circ$ ; el torque de bajada es estimado en 940 Kg -cm, este el torque debido a una carga de 20 Kg realizada por un anciano de la fundación a una distancia de 45 cm del centro del tornillo. Al reemplazar estos datos en la ecuación, se obtiene una  $W$  o carga de empuje de:

$$W = 5005.11 \text{ Kg.}$$

Esta es la carga que se utilizara para el diseño de todo el sistema de potencia de la prensa.

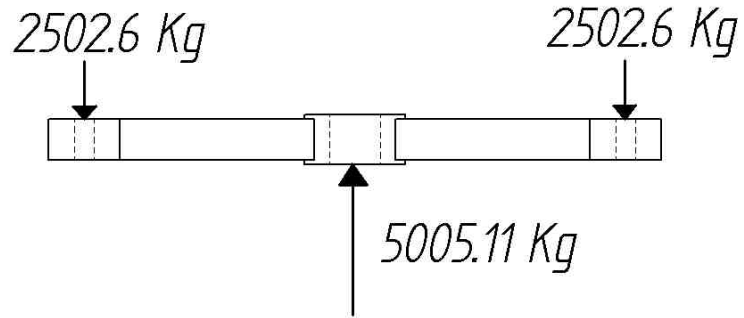
Con esto la condición de carga de sobre la prensa es la mostrada en la siguiente figura.

Figura 47. Carga de empuje de la prensa.



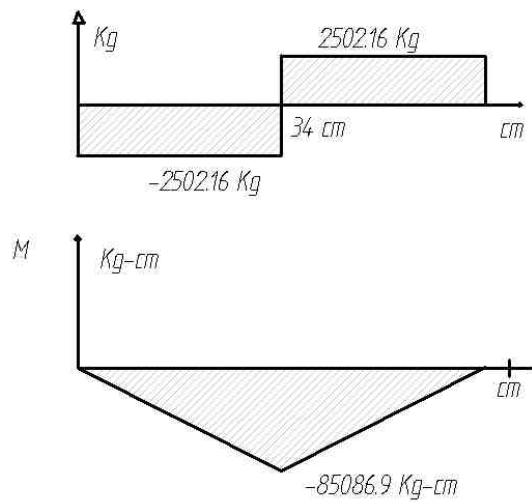
Con la condición de carga dada para la prensa se hace el diagrama de cuerpo libre para la viga donde esta soportada la tuerca y el resultado es el siguiente:

Figura 48. Cargas sobre la viga de soporte de la prensa.



El diagrama de Cortante y momento flector correspondiente para esta viga se puede ver en la siguiente figura.

Figura 49. Diagrama de cortante y momento flector para la viga de la prensa.

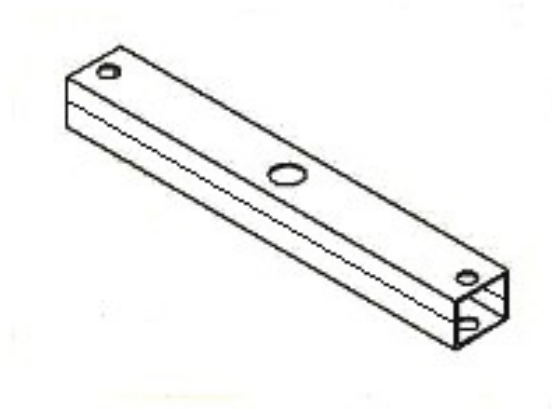


Para el dimensionamiento de esta viga se tienen las siguientes restricciones geométricas.

- ◆ Ancho mayor a 2 pulgadas, debido al diámetro exterior del tornillo.
- ◆ Ancho mayor a 3 pulgadas debido al diámetro exterior de la tuerca existente.

Con estas condiciones la forma inicial propuesta para esta viga es un cuadrado formado por dos canales en U unidos por sus extremos con un cordón de soldadura, como se muestra en la figura

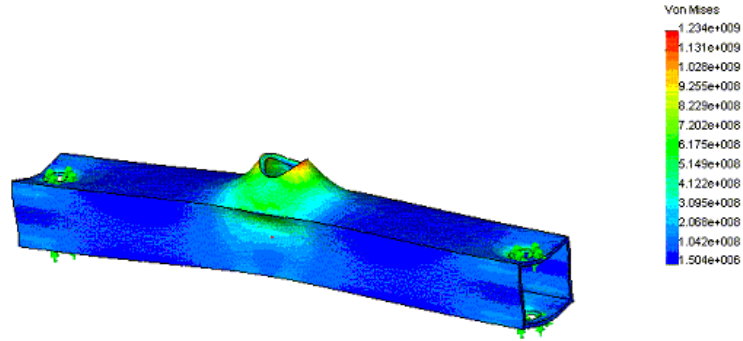
Figura 50. Viga de soporte para la prensa.



Con esta forma se selecciona un canal de 4 pulgadas X 5.4.

Para el análisis de esfuerzos de este elemento se utilizó un Software basado en el modelamiento por elementos finitos, al modelar esta pieza el resultado obtenido utilizando la teoría de Von Mises, para un acero A-36, se puede ver apreciar en la figura siguiente.

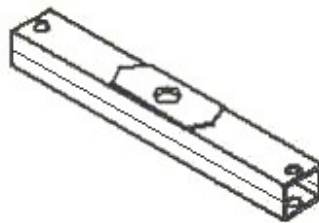
Figura 51. Análisis por elementos finitos de la viga de soporte.



Como se puede ver en la figura anterior la zona crítica de la viga de soporte es la sección central, con el fin de corregir esto, se deja la geometría inicial y se le coloca una placa adicional de refuerzo sobre el área la sección central.

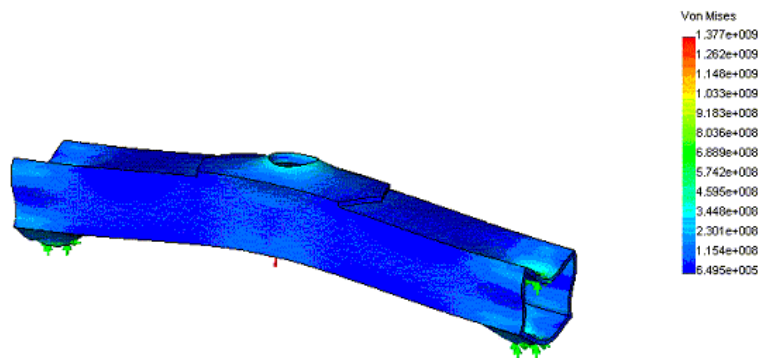
El refuerzo adicionado a la viga se puede ver en la siguiente figura

Figura 52. Viga de soporte reforzada.



Al analizar esta nueva geometría con el mismo software de elementos finitos se obtiene el resultado mostrado en la figura siguiente.

Figura 53. Análisis por elementos finitos de la viga de soporte con refuerzo central.

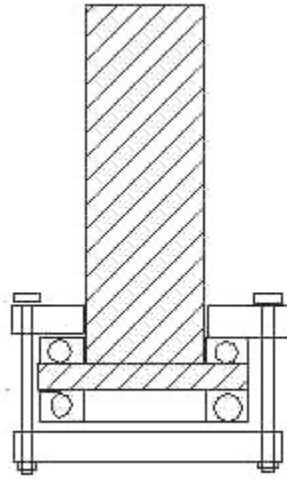


Como se puede ver en la figura anterior con el refuerzo adicionado la viga no fallara. Los detalles de la geometría de esta viga se pueden ver en el plano 03001.

#### ◆ Transmisión de potencia del tornillo a la placa.

Para transmitir la fuerza de empuje a la placa y permitir la rotación del tornillo, la unión entre el tornillo de potencia y la placa de presión tendrá la forma mostrada en la siguiente figura

Figura 54. Forma de unión entre el tornillo y la placa de presión.



#### ◆ Selección de rodamientos.

Las condiciones para seleccionar el rodamiento son.

- Carga axial de 5000.11 Kg
- Diámetro de la base del tornillo de 78 mm.

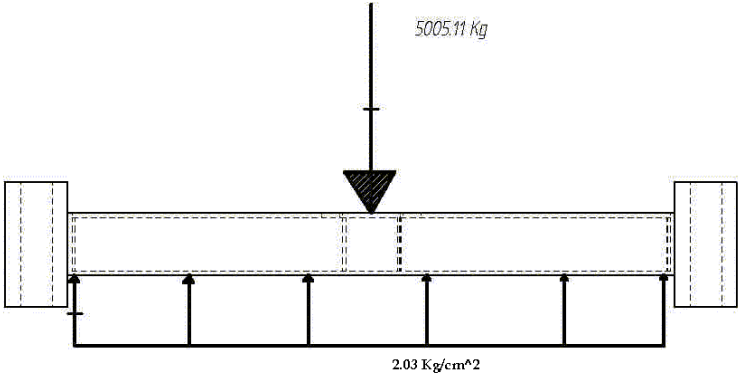
Con las anteriores condiciones y se selecciona del catalogo para rodamiento de NSK un rodamiento de bolas de empuje referencia 51210. Las dimensiones para las placas de unión se pueden apreciar en el plano 03000.

#### 5.9.3 Placa de presión.

Esta placa es la que transmite la fuerza de empuje a las hojas que se ubican entre esta y la base

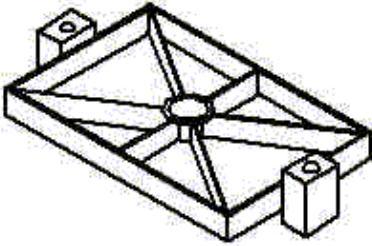
En la siguiente figura se puede ver la condición de carga para la placa de presión el análisis se realizara en el momento en el que se este aplicando la máxima carga de 5005.11 Kg sobre las hojas.

Figura 55. Estado de cargas para la placa de presión.



La geometría propuesta para esta placa se puede ver en la siguiente figura:

Figura 56. Geometría propuesta para la placa de presión.



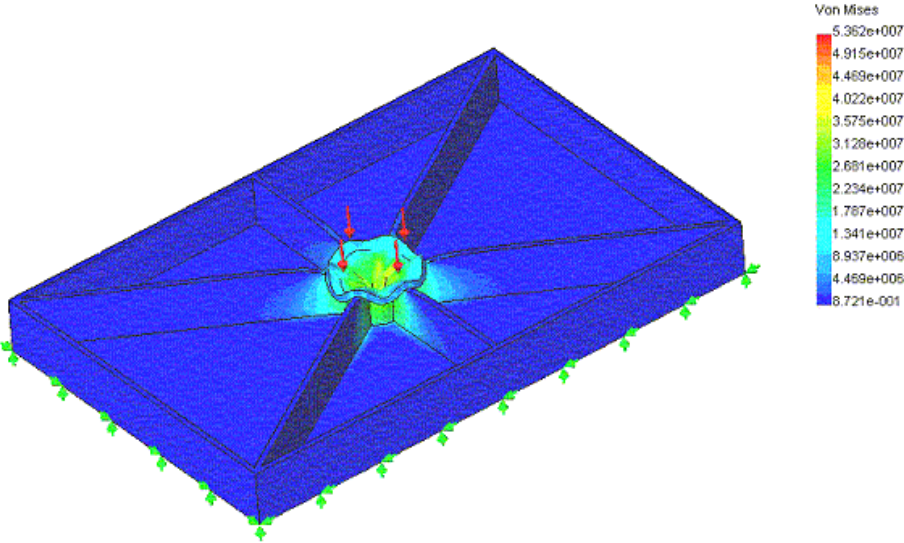
Para realizar el dimensionamiento final de la placa anterior se tendrán en cuenta las siguientes recomendaciones y limitaciones:

- ◆ La altura de los soportes deslizantes de los extremos debe ser como mínimo 4 veces el diámetro del agujero, con el fin de evitar que la placa se trabe. entre estos.
- ◆ El ancho de estos soportes se seleccionó en el doble del diámetro del agujero con el fin de dejar la mayor cantidad espacio posible entre los pernos de deslizamiento.

El material en el que se elaborara esta placa es en lamina de acero A-36 de 1/4 pulgadas de espesor.

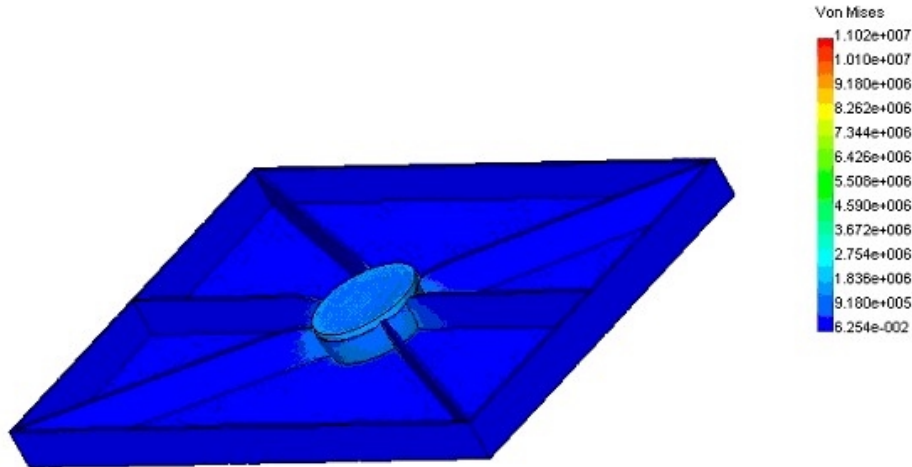
Con la geometría anterior y el espesor de lámina seleccionado se modela en un software basado en elementos finitos la placa obteniendo el resultado mostrado en la figura siguiente:

Figura 57. Análisis por elementos finitos de la placa de presión, espesor  $\frac{1}{4}$  pulg.



Como se puede apreciar en la figura anterior la zona crítica de esta placa es el centro que es en donde se afirma el tornillo de potencia. Ante esta situación se decide aumentar el espesor de lámina de  $\frac{1}{4}$  de pulgada a  $\frac{5}{16}$  de pulgada haciendo esta variación se modela nuevamente y el resultado obtenido se puede apreciar en la siguiente figura.

Figura 58. Placa de presión espesor de lamina 5/16 pulgada.



Como se puede ver en la figura anterior con los nuevos espesores de placa de acuerdo con el diagrama de colores la placa nos fallara.

Las dimensiones finales de esta placa se pueden apreciar en el plano 03002.

#### 5.9.4 Estructura de la prensa.

El rediseño de la estructura de la prensa consiste en aumentar el espaciamiento entre los tornillos de soporte y reforzar la base donde estos se encuentran apoyados. Esta estructura se deja como estaba ya que actualmente se encuentra funcionando sin problemas. Las dimensiones finales de esta estructura se pueden apreciar en el plano 03003

## **5.10 TUBERÍA NECESARIA EN EL TALLER.**

Para determinar las longitudes necesarias de tubería en el taller se realizó la distribución de planta y de esta se calcularon las longitudes requeridas.

Las necesidades presentes en taller con respecto a tubería son.

### **5.10.1 Tubería de transporte de pulpa a las tinas.**

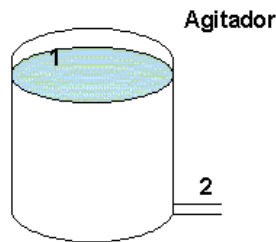
Esta tubería será la que permita el transporte de pulpa desde el agitador a las tinas. Esta tubería va desde la salida del agitador hasta la mitad de la parte horizontal de la banda transportadora, lleva dos válvulas de bolas para el control del flujo de la pulpa, una ubicada a la salida del agitador y la otra ubicada a la salida de esta tubería.

La longitud de esta tubería es 3.45 m para ver su distribución se puede remitir al plano hidráulico.

#### **♦ Selección del diámetro de la tubería de transporte del agitador a las tinas.**

Para el cálculo de este diámetro la situación como se muestra en la siguiente:

Figura 59. Esquema de la condición hidráulica del agitador.



En el punto 2 de la figura anterior se aplica la ecuación de energía y para este caso se tiene que la velocidad en este punto idealmente es

$$V = \sqrt{2g * H}$$

Donde H es la altura del fluido que para este caso es de 90 cm.

$$V = 4.2 \text{ m/seg.}$$

El caudal es  $Q = V * A$  reemplazado V y  $A = \pi d^2 / 4$ .

Donde d es el diámetro a hallar. Reemplazando

$$Q = 3.3 d^2 \text{ como se tiene un volumen de pulpa desalojar de } 0.154 \text{ m}^3$$

Y el Caudal es  $Q = \text{Volumen} / \text{tiempo}$ . Reemplazando se tiene

$$\frac{0.514}{t} = 3.3 * d^2$$

Con la anterior ecuación se puede obtener la variación del tiempo ideal de descarga de la pulpa.

Tabla 11. Tiempo de descarga contra diámetro de tubería.

Tiempo (seg)	Diámetro (m)
1	0.39
60	0.0509
93.14	0.0381

Después de hacer varias iteraciones se elige un diámetro de 1 ½ pulgada, 0.0381 m con el cual el tiempo de descarga ideal será idealmente de 93.14 segundos.

En resumen para la tubería de transporte de pulpa del agitador a las tinas se necesitan 3.45 m de 1 ½ pulg. En PVC con RDE 21.

### **5.10.2 Tubería para agua residual.**

Esta tubería es la que recoge el agua en diferentes puntos del proceso y la lleva a un tanque con el fin de reutilizarla en un nuevo lote de producción.

En esta tubería hay una parte que es un canal que va al lado de la banda transportadora, y cuya función es recoger el agua de las mesas de transferencia entre las tinas y la banda, el agua que escurra de la banda y el agua del proceso de prensado. Este canal desembocara en un embudo ubicado a un lado de la banda transportadora.

La longitud medida de esta tubería es de 17 m se elige un diámetro de 1 pulgada.

### **5.10.3 Tubería de recirculación del agua.**

Esta tubería es la que lleva el agua del tanque de agua residual al agitador para ser utilizada nuevamente en el proceso.

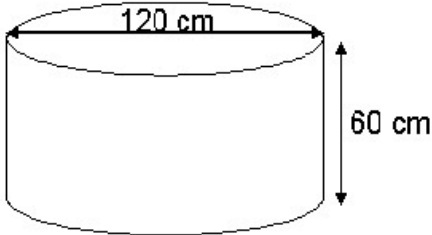
La longitud necesaria de esta tubería es 23 m y el diámetro seleccionado es de 1 pulgada.

La distribución y dimensiones de las tuberías anteriores se puede apreciar en plano 05002.

### **5.11 TANQUE DE AGUAS RESIDUALES.**

Este tanque es el que descarga la tubería que recoge el agua de los procesos de desmolde del bastidor, escurrido de la hoja en la banda y agua del prensado de acuerdo al diseño del taller el agua en proceso que puede haber en la producción de un día es de 950 litros teniendo en cuenta que la producción está diseñada para dos lotes se selecciona un tanque de 500 litros. Este tanque se cotiza en acero y en plástico y de acuerdo a criterios económicos este será de plástico referencia B-W 572 marca Colempaques de 500 litros. Las dimensiones principales del tanque seleccionado se pueden ver en la siguiente figura.

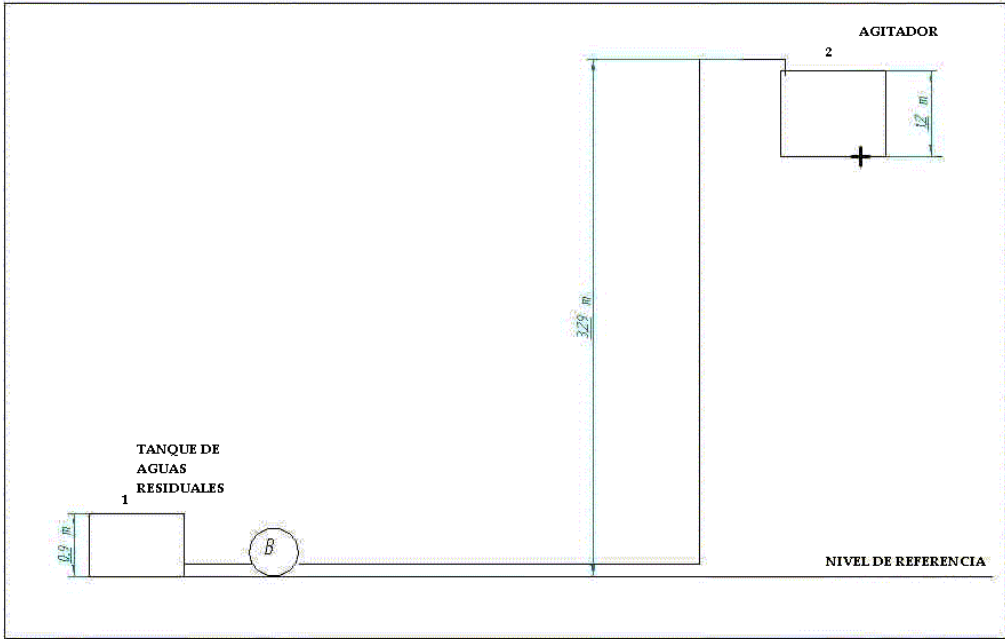
Figura 60. Tanque para agua residual.



**5.12 SELECCIÓN DE LA BOMBA PARA EL AGUA DE RECIRCULACIÓN.**

En la siguiente figura se puede ver un esquema de las condiciones existentes en el taller y con la cuales se calculara la bomba para recircular el agua.

Figura 61. Esquema de recirculación de agua.



Las condiciones para este esquema son:

Longitud total de tubería: 23 m.

Caudal Q = 25 gpm,  $1.262 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{seg}$ .

Con estas condiciones se aplica la ecuación de energía:

$$Z_1 + \frac{P_1}{\gamma} + \frac{V_1^2}{2 * g} + H_B = Z_2 + \frac{P_2}{\gamma} + \frac{V_2^2}{2 * g} + h_p$$

En la anterior ecuación el punto 1 se refiere al nivel de agua en el tanque de aguas residuales y el punto 2 es el punto de descarga en el agitador. Con esto:

$Z_1 = 0.89 \text{ m}$ .

$P_1/\gamma$  y  $P_2/\gamma$  son la presión atmosférica entonces son = 0.

$Z_2 = 3.29 \text{ m}$ .

Reemplazando y calculando valores se llega a la siguiente ecuación:

$$H_B = 2.39 + \frac{V_2^2}{2 * g} + h_{\text{totales}}$$

Para calcular V, se asume un diámetro inicial de 1 pulgada = 0.0254 m.

Para calcular la pérdidas totales se dividirán en pérdidas mayores  $h_p$  cuya ecuación es

$$h_p = f \frac{LV^2}{Dg}$$

Y en pérdidas menores  $h_{pm}$  cuya ecuación correspondiente es:

$$h_{pm} = f \frac{L_{\text{equivalente}} V^2}{Dg}$$

Con la formula del caudal:

$$Q = V * A$$

$$V = \frac{Q}{\frac{\pi}{4} D^2}$$

Para el caudal requerido y el diámetro asumido, reemplazando y calculando en la anterior ecuación se llega a que  $V = 2.5$  m/seg.

Con esto se calcula el número de Reynolds.

$$R_e = \frac{\rho V D}{\mu}$$

Donde  $\rho = 1000$  Kg/m<sup>3</sup>, densidad del agua. Y  $\mu = 1 \cdot 10^{-3}$  viscosidad absoluta del agua a temperatura ambiente.

Reemplazando y calculando el  $R_e = 63500$ , el flujo es turbulento con este valor y como la tubería a utilizar es en PVC se toma como tubería lisa se calcula el factor de fricción  $f = 0.02$ .

Reemplazando estos valores en la ecuación para el calculo de pérdidas mayores y calculando se llega a :

$$h_p = 0.02 \frac{23 * 2.5^2}{2.54 * 10^{-2} * 9.81}$$

$$h_p = 5.8 \text{ m.}$$

Para las pérdidas menores

$$h_{pm} = f \frac{L_{equivalente} V^2}{Dg}$$

En esta conexión en total se utilizara 5 codos de 90 grados y 2 válvulas de globo ubicadas una a la entrada de la bomba y la otra en la llegada al agitador .De tablas dadas el libro de Mecánica de fluidos de Fox, se toman los valores de longitud equivalente para el codo a 90 grados igual a 60 y para las válvulas 3 para cada uno de los elementos, como son 6 codos y 2 válvulas , al calcular la longitud equivalente total de los accesorios  $L_{equivalente}/D = 306$ . Estos valores se reemplazan y calculan las perdidas menores

$$h_{pm} = f \frac{L_{equivalente} V^2}{Dg}$$

$$h_{pm} = 0.02 \frac{306 * 2.5^2}{2.54 * 10^{-3} * 9.81}$$

$$h_{pm} = 1.95 \text{ m.}$$

Entonces las perdidas totales son:

$$h_{p\_totales} = h_p + h_{pm}$$

$$h_{p\_totales} = 5.8 + 1.95 = 7.75...m.$$

Retomando la ecuación de energía, reemplazando los valores correspondientes y calculando:

$$H_B = 2.39 + \frac{V_2^2}{2 * g} + h_{totales}$$

$$H_B = 2.39 + \frac{2.5^2}{2 * 9.81} + 7.75$$

$$H_b = 10.43 \text{ m.}$$

Esta es la cabeza que debe dar la bomba a un caudal de 20 gpm.

Con estas condiciones selecciona una Bomba centrífuga marca Barnes de 1/3 HP referencia H-203. Para ver el punto de operación de la bomba se puede remitir al anexo J.

### **5.13 DISTRIBUCION DE LOS EQUIPOS DISEÑADOS EN EL TALLER.**

Para realizar la distribución de planta del taller se tuvo en cuenta la secuencia del proceso y el área disponible para la ubicación de los equipos.

La distribución de planta se puede apreciar en el plano 05003.

### **5.14 ASPECTOS DE SALUD OCUPACIONAL PARA EL DISEÑO DEL TALLER.**

La salud ocupacional es un área muy importante en el diseño de una planta, pues la función de ésta es prevenir situaciones indeseadas como accidentes y enfermedades sobre las personas o equipos de una instalación

Un programa de Salud Ocupacional es el conjunto ordenado de todas las medidas de intervención sobre los riesgos, de acuerdo a un orden de prioridades establecido en el panorama de riesgos y donde las actividades se establecen en una secuencia en tiempos determinados, de acuerdo con los objetivos y el cronograma de trabajo.

La resolución 1016 de 1989 define el PROGRAMA DE SALUD OCUPACIONAL, como la planeación, organización, ejecución y evaluación de las actividades de Medicina Preventiva, Medicina de Trabajo, Higiene y Seguridad Industrial, tendientes a preservar, mantener y mejorar la salud individual y colectiva de sus trabajadores en sus ocupaciones y que deben ser desarrolladas en sus sitios de trabajo en forma integral e interdisciplinaria.

Las actividades previstas en el PROGRAMA; tienen como finalidad evitar accidentes en los lugares de trabajo, lo mismo que las enfermedades comunes.

Obviamente, para los pequeños negocios el PROGRAMA SALUD OCUPACIONAL, podrá ser sencillo, pero el PROGRAMA será cada vez más complejo y exigirá cumplir mayores actividades, en la medida en que la empresa sea más grande tenga mayor número de empleados, se realicen operaciones más variadas, con maquinaria peligrosa y con manejo de productos químicos, biológicos o físicos.

EL PROGRAMA DE SALUD OCUPACIONAL, debe ser específico para cada empresa, es decir, responder a sus características propias.

En este proyecto se tendrán en cuenta para la seguridad industrial el control de condiciones físicas y condiciones de seguridad

#### **5.14.1 Control de condiciones físicas.**

La fundación debe mantener bajo control las condiciones de ruido, vibraciones, humedad, temperatura, ventilación etc, de tal forma que no ocasionen riesgos de accidentes o enfermedades para los que allí laboran.

#### ◆ **Ventilacion.**

Se puede efectuar por medios mecanicos o naturales. Los metodos naturales de ventilación son más baratos que los mecánicos, sobre todo cuando se utilice la potencia del aire.

#### ◆ **Iluminación.**

Es indispensable tener en cuenta que la zona de trabajo este lo suficientemente iluminada para facilitar a los ocupantes la vision sin esfuerzo. El fin primordial de la iluminación es ayudar al personal a cumplir su cometido. Se deben colocar buenos dispositivos de iluminación para que con la luz natural se logre un plano de trabajo perfectamente iluminado, lo que constituye la principal medida preventiva contra accidentes.

#### ◆ **Ruido.**

El ruido es un sonido indeseable que produce tanto efectos fisiológicos como psicologicas e interfiere con las actividades humanas, de comunicación.

#### ◆ **Contaminantes quimicos.**

Los riesgos quimicos son causados por las reacciones que producen las sustancias quimicas, que al trasformarse o al entrar en contacto con el cuerpo humano, ocasiona accidentes enfermedades, dependiendo de su naturaleza, composición y concentración.

Su forma de ingreso al organismo puede ser por ingestión, inhalación, o

absorción a través de la piel. El contacto de productos químicos con el cuerpo también puede causar lesiones como quemaduras, irritaciones, dermatitis.

#### **5.14.2 Control de condiciones de seguridad.**

##### **◆ Riesgos Mecánicos.**

Están relacionados con el uso de maquinaria y herramientas que pueden causar lesiones de gravedad, al entrar en contacto con partes móviles de los equipos o por materiales proyectados desde estos.

Para evitar estos accidentes el trabajador deberá:

- Usar ropa adecuada y elementos de protección.
- Cumplir estrictamente las normas de seguridad establecidas.
- El área para el operario debe ser mínimo de dos metros cuadrados.
- Usar la herramienta adecuada en el trabajo.

Reportar al superior cualquier anomalía que observe

##### **◆ Manejo de Reactivos.**

La primera regla de seguridad en el manejo de reactivos es conocer las propiedades del reactivo que se emplea. Es importante tener en cuenta las siguientes normas de seguridad

- El manejo de sustancias peligrosas debe ser reservado a personal calificado.
- Al trabajar, emplee siempre caretas y si es posible guantes.

- Hasta donde sea posible utilizar vitrina de extracción trabajar en lugares con muy buena ventilación.

- Evitar el contacto de los reactivos con mucosas, piel y ojos. Cuando se salpique la piel, limpiela con un trapo seco y limpio luego con suficiente agua fria y jabón. Cuando se salpique los ojos, laveelos con suficiente agua, con los dedos abra los parpados to máximo posible y mueva los ojos en todas las direcciones. Acuda inmediatamente a un oftamologo. En caso de salpicaduras quitese todos los objetos y la ropa que hayan sido impregnadas con sustancias corrosivas. Se recomienda el use de batas de trabajo.

- ◆ Superficles de trabajo.

Estan directamente asociados con los riesgos de caidas en un mismo nivel o en diferentes niveles; a pisos humedos como baches, obstaculos o huecos.

- ◆ **Orden y Aseo.**

Son causa de accidentes, enfermedades, de trabajos deficientes y de baja calidad. Mantener los locales en orden y aseo es responsabilidad de todos los que en ellos laboran, al respecto es necesario tener en cuenta:

- **Higiene personal.**

Presentarse en condiciones de aseo, utilizar la dotacion de trabajo, hacer uso adecuado de las instalaciones sanitarias, lavar las manos con agua y jabón antes de tomar altamentos.

Sitio de trabajo: Mantenerlo limpio y aseado, conservar los pasillos despejados, no arrojar desperdicios a las alcantarillas.

#### ◆ **Riesgos Electricos.**

Se deben tomar las siguientes precauciones básicas

- Las reparaciones deben ser hechas por personal calificado.
- No trabajar equipos eléctricos en pisos húmedos.
- Las cajas de fusibles deben permanecer cerradas.
- Evitar el empleo de extensiones.
- No trabajar equipos con conexiones defectuosas.
- Los trabajadores deben recibir entrenamiento sobre que hacer en caso de accidentes con electricidad y como prestar primeros auxilios.

#### ◆ **Riesgos de incendio y explosión.**

Los incendios en los sitios de trabajosuelen ser los accidentes que más frecuentemente alteran la marcha deltrabajo. El riesgo de incendios es variable en cada establecimiento. La ventilación normal debe mantener el ambiente despejado en condiciones de trabajo y evacuar rápidamente gases y vapores en momentos de emergencia.

Debe evitarse que productos de facil combustión se hacen cerca de fuentes de calor, como estufas, hornillos, etc. En términos generales cuando se produce un incendio en un lugar suele ser atacable con un extintor de mano. Para que sea rápida su acción el extintor de mano debe estar en los lugares de mayor riesgo. La idoneidad del material de extinción depende de la sustancia

inflamada. Para mantener bajo control estos riesgos es necesario la adopción de las siguientes medidas:

- No es permitido fumar, usar llamas abiertas en lugares de almacenamiento de líquidos, gases inflamables u oxidantes.
- No es permitido usar líquidos inflamables como elementos de limpieza o desengrase. Los equipos como sopletes, hornos, quemadores, deben ser utilizados por personal autorizado.
- Se deben contar con sistemas de control y prevención de incendios.
- Aspectos psicosociales. Los factores de riesgos relacionados directamente con el individuo son: Personas introvertidas con baja autoestima, depresivas, inseguras, tímidas las cuales son emocionalmente vulnerables y susceptibles a reaccionar con ansiedad y temor ante situaciones que para otras personas son normales. Estos factores pueden generar bajo rendimiento, enfermedades, incapacidades, cansancio, incapacidad laboral, desvinculación de los medios familiares y sociales
- Riesgos ergonómicos. La ergonomía es la ciencia que trata de la adaptación del trabajo al hombre. Por las diferencias existentes entre las personas se debe proyectar y planificar las condiciones del trabajo. Muchas de las enfermedades son causadas porque diferentes partes o sistemas del cuerpo son sometidos a tensiones, posiciones y condiciones que no están de acuerdo con las características de las que lo realiza.

Los principales riesgos que se pueden presentar en el taller son accidentes de trabajo debidos a:

Incendio del papel almacenado.

Riesgos eléctricos.

Quemaduras por equipos calientes.

Magulladuras de dedos.

Las acciones a realizar para adecuar las instalaciones del taller y así controlar los riesgos existentes son:

Con el fin de adecuar las condiciones físicas del taller para mejorar su ventilación e iluminación se dispondrá una ventana en la parte lateral.

Para controlar cualquier incendio se colocará extintores de clase A de 5 libras.

Todas las instalaciones eléctricas serán en tubo de PVC de ½ pulgada RDE 50.

Para evitar accidentes de trabajo relacionados con el manejo de los equipos se dictará un curso de entrenamiento para trabajar los equipos.

## 6. COSTOS DE INVERSIÓN.

A continuación se dan los valores de los equipos y elementos necesarios para el taller diseñado. Se debe anotar en este punto que los precios son a la fecha de la realización de este trabajo y no incluyen impuestos.

### ◆ Costo de los equipos diseñados.

Tabla 12. Costo de equipos.

Nº	Descripción	Valor en pesos colombianos
1	Agitador: Recipiente, eje, hélice y soporte de eje.	\$4'240.000 <sup>00</sup>
2	Motoreductor SEW de 1.0 Hp 450 RPM de Salida. 220 V	\$1'350.000 <sup>00</sup>
3	Compresor Elite 802 110 V 4 psi, 70 Lt/min.	\$60.000 <sup>00</sup>
4	Transportador de banda, estructura en acero A-36 Banda en PVC 6.3 m 6 rodillos de retorno de 2 pulgadas Bandeja recolectora de agua con canal par tubería de drenaje.	\$6.744.000 <sup>00</sup>
5	Cabeza motriz con motoreductor SEW de 1.0 Hp 34 RPM de salida 220 V soporte del motoreductor, rodillo motor de 4 pulg. Y rodillo conducido de 4 pulgadas.	\$3'600.000 <sup>00</sup>

6	Tres mesas de transferencia en acero inoxidable C-18 de 70 cm X 90cm ancladas al transportador y estructura mesa tinas	\$1'050.000 <sup>00</sup>
7	Adaptación de prensa manual en acero, placa de prensa en acero de 5/16 pulg. y acoples guías	\$1'750.000 <sup>00</sup>
8	Accesorios de conexión de tanques, tornillería, bases entrada y salidas laterales de tanques	\$1'750.000 <sup>00</sup>
9	Balanza para pesaje de 20 Kg	\$50.000 <sup>00</sup>
10	Bomba Centrifuga de agua de recirculación 1/3 Hp	\$300.000
11	Tubería en PVC RDE 21 Diámetros 1 pulg., 1 ½ pulg., 2 pulg. codos y accesorios	\$180.000
12	Válvulas de globo 1 pulg., 1 ½ pulg., 2 pulg.	\$60.000 <sup>00</sup>
13	Tanque para aguas residuales de 500 litros	\$350'000 <sup>00</sup>
14	Recipiente para espuma de destintado	\$200'000 <sup>00</sup>
13	Manguera de 1 ½ con acoples 3 m.	\$52.000 <sup>00</sup>
14	Conexión eléctrica a 220 v, cables, interruptores, tubería.	\$350.000 <sup>00</sup>
15	Elementos varios tornillos, pegantes, clavos, etc.	\$150.000 <sup>00</sup>
16	Montaje y puesta en marcha	\$3'732.000 <sup>00</sup>
17	Extintores, ventana de ventilación	\$450'000 <sup>00</sup>
18	Entrenamiento y capacitación	\$350'000
17	Transporte de equipos, talleristas, etc.	\$3'000.000 <sup>00</sup>
Costo		\$30'308.000
Imprevistos		\$3'030.800 <sup>00</sup>
Costo total en pesos colombianos		\$33'338.800 <sup>00</sup>
Costo total en Euros		ξ 9.862 <sup>00</sup>

## 7. CONCLUSIONES.

El trabajo anteriormente expuesto se planteó y fue desarrollado con la intención de lograr mejorar la calidad de vida de un grupo de personas por medio de la implementación de conocimientos técnicos y científicos en la solución de un problema determinado.

- ✓ Se diseñó un taller para la fabricación artesanal de papel, a partir de papel de desecho, respondiendo con esto a una necesidad de la Fundación Albeiro Vargas y Ángeles custodios, que se consideró beneficiaria directa del proyecto, para lo cual se tuvieron en consideración las condiciones preexistentes del taller de dicha Fundación.
- ✓ Previo a la elaboración del diseño se realizó una revisión y diferenciación entre las diferentes formas de obtención de pulpa y papel.
- ✓ Se estudiaron y consideraron los requerimientos del taller a diseñar, para lo cual se analizaron las diferentes variables a incidir en la elección de los equipos y la distribución de los mismos.
- ✓ Se realizó el diseño de un agitador para elaborar pulpa de papel a partir de papel de desecho en consistencias bajas.
- ✓ Complementario al diseño de la planta y de los equipos, se hizo un estudio del costo correspondiente al montaje y puesta en funcionamiento del taller.

- ✓ Se elaboró un manual para la fabricación de papel artesanal a partir de papel de desecho, dirigido a los miembros del taller de la Fundación Albeiro Vargas y Angeles Custodios.
  
- ✓ No obstante se tomó a la Fundación Albeiro Vargas y Angeles Custodios como destino del proyecto, para lo cual se consideraron sus requerimientos y particularidades, los equipos diseñados son aplicables al proceso de producción de papel artesanal a partir de papel de desecho en otras zonas del país, contribuyendo así al tratamiento adecuado de los desechos sólidos que no siendo reciclados y/o tratados afectan de manera nociva el medio ambiente.

## RECOMENDACIONES.

- ✓ Realizar el montaje y puesta en marcha del taller diseñado
- ✓ Promover proyectos de este tipo por medio de los cuales se les den soluciones a las comunidades más necesitadas, aplicando el conocimiento científico.
- ✓ Tomar muestras periódicamente del agua de destintado y llevarlas a análisis químico para conocer su estado.
- ✓ Hacer el estudio pertinente para evaluar la utilización de un horno para el secado del papel producido en el taller

## BIBLIOGRAFÍA

**CÁCERES, Hernán y BRICEÑO, Carlos.** Producción de pulpas a partir de papeles de desecho impresos con tonos fuertes, destintados por flotación. Bucaramanga: Ediciones UIS, 1988, 114 p.

**CRUZ CASTRILLÓN Robert y PEREA SANDOVAL Ana Lucia.** Diseño Preliminar de una planta piloto para la producción de papel a partir de papel de desecho. Bucaramanga, 1993, 160 p. Trabajo de Grado (Ingeniero Químico) Universidad Industrial de Santander. Facultad de Ciencias Físico-Químicas. Escuela de Ingeniería Química.

**DONOUGH Mc.** Mixing for the process Industries. Londres: Lewis, 1987, 200 p.

**GARCÍA LIZARAZO Jorge Antonio.** Aplicación del proceso del destintado por flotación para la obtención de pulpa a partir de papel impreso con tonos fuertes. Bucaramanga, 1985, 225 p. Monografía (Especialista en Química). Universidad Industrial de Santander. Escuela De Ingeniería Química .Post grado en Química.

**HIBBELER R. C.** Mecánica de materiales. México: Prentice Hall, 1998, 853 p.

**JONQUERES, Paúl.** Principios básicos a tener en cuenta en los problemas de agitación y mezcla. En: Investigación y técnica del papel. Madrid. Tomo 8 (Enero de 1971), Numero 27: Paginas 69 a 77.

**MCDONALD Fox.** Introducción a la mecánica de fluidos. México: Mc Grauw Hill, 1995, 917 p.

**MEGYESY. Eugene F.** Manual de recipientes a presión Diseño y cálculo. México: Limusa, 1998, 482 p.

**MOTT Robert.** Diseño de elementos de máquinas. México. Prentice Hall, 1992, 856 p.

**NARITA Kiyofusa.** Técnicas empleadas en el Japón para la fabricación de papel a mano. En: Investigación y técnica del papel. Madrid. Tomo 9 (Octubre de 1972), Numero 34: Páginas 1061 a 1076.

**LAURENT Louis.** Las Prensas de alta sequedad. En: Investigación y técnica del papel. Madrid. Tomo 8 (Octubre de 1972), Numero 34: Páginas 367 a 382.

**LIBBY, C Earl.** Ciencia y tecnología sobre pulpa y papel. Tomo I Pulpa. México: Compañía Editorial Continental S.A, 1968. 534 p.

**LIBBY, C Earl.** Ciencia y tecnología sobre pulpa y papel. Tomo II Papel. México: Compañía Editorial Continental S.A, 1968. 514 p.

**PARADA Alfredo,** Apuntes de clase Diseño de Maquinas I .1998. UIS Bucaramanga.

**PAVLOV, K. F, ROMAN KOV, P. G. Y NOSKOV, A. A.** Problemas y ejemplos para el curso de operaciones básicas y aparatos en tecnología química. Moscú: Mir, 1981. 615 p.

**ZUEHLKE E. R.** Agitación de pastas en fábricas de papel. En: Investigación y técnica del papel. Madrid. Tomo 3 (Octubre de 1966), Numero 10: Paginas 967 a 990.

## **ANEXO A. MANUAL DE OPERACIÓN Y DE PROCESO PARA EL TALLER DISEÑADO.**

Los equipos de los que constará el taller diseñado son:

Una balanza con capacidad para 20 Kg

Un agitador en donde se humectará, desfibrara y destintara el papel.

Tres tinas en donde se conformarán con los bastidores y los interlones las nuevas hojas.

Una banda transportadora.

Una prensa manual donde se conformará y disminuirá la humedad a las nuevas hojas.

### **1. PROCEDIMIENTO DE CLASIFICACIÓN DEL PAPEL DE DESECHO.**

El papel que se recibe en la fundación es básicamente papel de oficina y de fotocopiadoras, libros viejos y magazines, este papel es clasificado para evitar que se metan al proceso materiales nocivos y elementos extraños tales como:

- Papeles con alquitrán.
- Papeles impregnados de negro de humo.
- Papeles impregnados de parafina.
- Papeles revestidos de plástico.
- Papeles impregnados de grasa, manteca, aceite.
- Papel carbón.
- Papeles encerados.
- Papeles con satinados plásticos, de cera, aluminio, barniz o laca.
- Papel de fotografía.
- Papeles adhesivos con lana de tela o plástico.
- Papeles o cintas con adhesivos no solubles en agua.

Con la clasificación también se quita al papel cuerpos extraños que pueden traer el papel entre estos se pueden mencionar, ganchos de grapado, cuerdas de todo tipo, desechos de comida, plásticos, los cuales además de tener el efecto perjudicial de los materiales nocivos pueden causar daños a los elementos utilizados en la fabricación del papel.

De acuerdo con esto se llenan sacos de papel clasificado que se llevaran al cuarto de almacenamiento ubicado en el taller.

## **2. PESAJE.**

El papel ya clasificado en sacos por colores se toma una bolsa y se pesan en raciones de 5 Kg y se almacena en bolsas marcadas con el valor del peso del papel que contiene.

### **3. HUMECTACIÓN DEL PAPEL.**

Antes de encender el motor del agitador se debe verificar que la válvula de desalajo del agitador este cerrada.

Para lograr la humectación del papel se echan dentro del agitador 25 Kg. de papel del mismo color proveniente de la bolsas de almacenamiento, o 5 bolsas de papel clasificado y pesado en el paso anterior, luego abra la válvula del agua hasta que el agua el nivel de agua llegue aproximadamente la mitad de la altura del tanque, en este momento se encienda el agitador , y deje llenar el agitador hasta la altura indicada en la cara externa de este , la altura de agua se puede variar con la válvula esto dependerá del tipo de papel que se este humectando, para establecer la cantidad de agua adecuada se utiliza la inspección visual.

### **4. DESFIBRADO.**

El proceso de humectado se puede afirmar que es la fase inicial del desfibrado, para lograr desfibrar el papel, convertirlo en pulpa, deje encendido el agitador hasta que se observe que todo el papel introducido esta convertido en pulpa en este momento se puede decir que ha terminado la etapa de pulpear o desfibrar el papel.

### **5. DESTINTADO.**

Con el agitador a aun encendido pero teniendo ya pulpa en agitación se agrega una cantidad aproximada de 50 gramos de detergente en polvo que

preferiblemente contenga blanqueador , luego se deja por 5 minutos que se mezcle el detergente en la solución después de esto se enciende el compresor para generar burbujas que subirán desde el fondo del recipiente hasta la superficie el agitador arrastrando partículas de tinta, esta espuma y la capa superficial de la pulpa en agitación contendrá gran cantidad de tinta que se desprendió de la pulpa dejándola limpia y por lo tanto debe ser retirada para esto se apaga el agitador y se retira rápidamente con un cucharón de cocina tradicional de tamaño adecuado la espuma y capa superficial de la pulpa. Esta espuma debe ser llevada a un tanque de sedimentación.

## **6. TRANSPORTE A LAS TINAS.**

Para transportar la pulpa ya destintada a las tinas, se debe verificar que este conectada la manguera con la cual se repartirá la cantidad de pulpa suficiente a las tinas después de esto se debe verificar que la válvula final de la tubería de transporte de pulpa este cerrada de esta forma se abrirá la válvula de salida del agitador y debido a la diferencia de altura existente entre la ubicación del agitador en el taller y la ubicación de la tinas la pulpa empezara a desplazarse hacia las tinas en este momento ya se tiene la manguera ubicada dentro de la tina a la que se le va a suministrar pulpa, se abre la válvula de control para la manguera y se deja llenar la tina hasta una diferencia de altura entre el borde superior de la tina y el nivel de pulpa de unos 5 cm aproximadamente, cuando se llegue a este nivel de pulpa se cerrara la válvula de control de la manguera y esta se trasladara hasta la otras dos tinas hasta dará el nivel de pulpa similar a la primera. En el momento que la primera tina se encuentre por la mitad de su capacidad se le agregara la cantidad de encolante adecuada, no se especifica aquí la cantidad por razones

de proteger el know how del taller, el mismo procedimiento se hará para las otras dos tinas.

## **7. CONFORMACIÓN DE LA HOJA.**

En esta parte del proceso la pulpa se encuentra con el encolante en las tinas lista para ser conformada en nuevas hojas. Antes de introducir el bastidor en esta es recomendable que se agite con el agitador manual la pulpa para promover la homogeneidad de esta, luego de esto introduzca el bastidor inclinado hacia el cuerpo de la persona que lo maneja en la pulpa lleve hasta el fondo y luego súbalo suavemente agitándolo en unas ocasiones de derecha a izquierda y en otras de adelante hacia atrás, esto con el fin de promover el entrecruzamiento de las fibras. El bastidor ya fuera se coloca sobre la mesa ubicada entre las tinas y la banda transportadora deje escurrir un poco y luego pase sobre la malla del bastidor la esponja disponible para ayudar a conformar la nueva hoja y disminuir la humedad. Coloque la nueva hoja sobre el interlon y desmolde. Después de esto la hoja se coloca en la banda transportadora donde es llevada a la mesa de pre-prensado, en donde se hacen pilas de 20 hojas y se colocan entre dos tablas dispuestas para ser llevadas a la prensa.







## **8 PRENSADO.**

Después de conformada la pila de hojas en la mesa de apilamiento se llevan a la prensa en la cual se acomodan y centran antes de empezar a apretar por medio de la manivela diseñada para este fin. Luego de se ha llegado al límite de prensado se deja por dos minutos en esa situación y luego se voltea la pila


de hojas, es decir la tabla que estaba en la parte superior quedara ahora en la inferior e igual situación sufrirán las hojas, esto se hace con el fin de lograr un mejor conformado de las hojas y retirar una mayor cantidad de agua de las hojas. Después de salir de la prensa las hojas son llevadas a la mesa continua dispuesta para el desarme de la pila de nuevas hojas aquí se desprenden unas de otras y son llevadas una por una a los alambres dispuestos para su secado al aire libre.

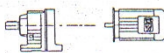

## ANEXO B. Eficiencia de la junta soldada.

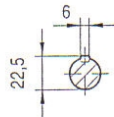
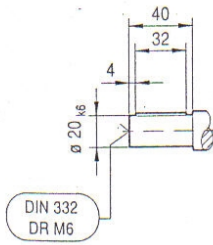
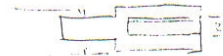
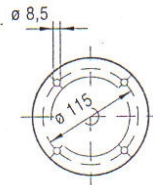
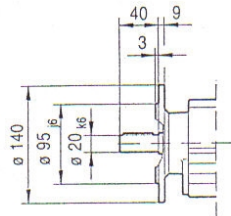
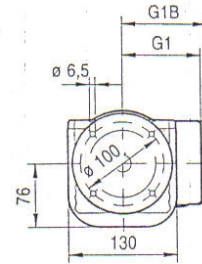
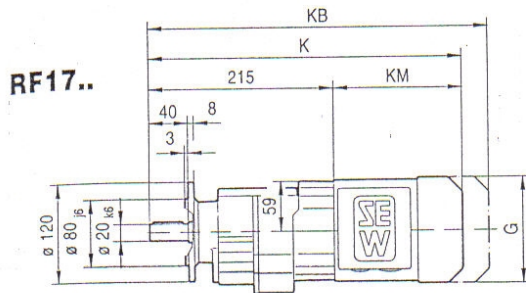
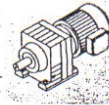
142

TIPOS DE JUNTAS SOLDADAS				
TIPOS NORMA UW-12		EFICIENCIA DE LA JUNTA, E Cuando la junta es:		
		a. Radiogra- fiada total- mente	b. Examinada por zonas	c. No Examinada
1	 <p>Junta a tope hechas por doble cordón de soldadura o por otro medio con el que se obtenga la misma calidad de metal de soldadura depositada sobre las superficies interior y exterior de la pieza. Si se emplea placa de respaldo, debe quitarse ésta después de terminar la soldadura.</p>	1.00	0.85	0.70
2	 <p>Junta a tope de un solo cordón con tira de respaldo que queda en su lugar después de soldar</p> <p>En juntas circunferenciales únicamente</p>	0.90	0.80	0.65
3	 <p>Junta a tope de un solo cordón sin tira de respaldo</p>	—	—	0.60
4	 <p>Junta a traslape de doble filete completo</p>	—	—	0.55
5	 <p>Junta a traslape de un solo filete completo con soldaduras de tapón</p>	—	—	0.50
6	 <p>Junta a traslape de un solo filete completo sin soldaduras de tapón</p>	—	—	0.45

# ANEXO C. Especificaciones técnicas del motoreductor SEW R17 DT80K2.


7

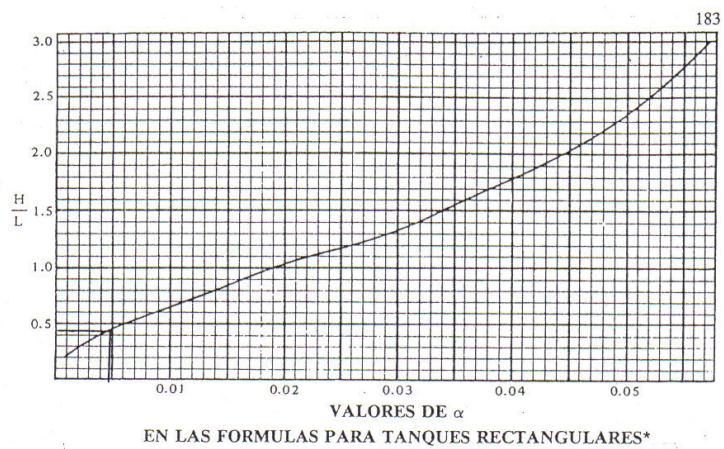
$P_m$ [kW]	$n_a$ [1/min]	$M_a$ [Nm]	$i$	$F_{Ra}^{(1)}$ [N]	SEW- $f_B$		$m$ [kg]			
0.75	62	116	22.32	2750	1.10					
	71	100	19.35	2670	1.30					
	76	94	18.08	2630	1.40					
	88	81	15.63	2550	1.60					
	104	69	13.28	2450	1.90					
	116	62	11.86	2380	2.1					
	136	53	10.13	2290	2.3	R	27	DT 80N4*	13	167
	147	49	9.41	2210	2.5	RF	27	DT 80N4*	13	180
	169	42	8.16	2130	2.7					
	181	40	7.63	2090	2.8					
	209	34	6.59	2010	3.1					
	246	29	5.60	1930	3.4					
	276	26	5.00	1870	3.7					
	70	102	19.71	465	0.85					
	81	88	16.99	1390	0.95					
87	82	15.84	1380	1.05						
100	72	13.84	1370	1.20						
106	67	12.98	1360	1.25						
121	59	11.45	1350	1.35						
136	53	10.15	1320	1.45	R	17	DT 80N4*	12	166	
160	45	8.63	1290	1.60	RF	17	DT 80N4*	12	179	
183	39	7.55	1200	1.45						
196	37	7.04	1180	1.50						
224	32	6.15	1160	1.70						
239	30	5.76	1150	1.75						
271	26	5.09	1120	1.95						
306	23	4.51	1090	2.0						
360	20	3.83	1060	2.3						
236	30	11.45	1200	2.7						
266	27	10.15	1170	2.9						
313	23	8.63	1130	3.1						
358	20	7.55	1060	2.8						
384	19	7.04	1040	2.9	R	17	DT 80K2	11	166	
439	16	6.15	1010	3.3	RF	17	DT 80K2	11	179	
468	15	5.76	990	3.5						
531	14	5.09	960	3.8						
599	12	4.51	930	4.0						
704	10	3.83	890	4.4						
199	36	4.53	4260	2.3	RX	67	DT 90S6*	27	193	
209	34	4.30	4200	2.3	RXF	67	DT 90S6*	31	199	
239	30	3.77	4040	2.9						
281	26	3.20	3840	3.9						
267	27	5.18	3900	2.8						
305	24	4.53	3750	3.5						
321	22	4.30	3690	3.6						
366	20	3.77	3540	4.4						
431	17	3.20	3360	6.0	RX	67	DT 80N4*	22	193	
478	15	2.89	3260	7.1	RXF	67	DT 80N4*	26	199	
543	13	2.54	3130	8.9						
575	13	2.40	3070	9.8						
675	11	2.04	2920	13						
743	9.6	1.86	2830	13						
858	8.3	1.61	2700	14						
238	30	3.79	3240	2.3						
254	28	3.55	3180	2.4						
287	25	3.14	3060	2.6	RX	57	DT 90S6*	24	192	
309	23	2.91	3000	2.9	RXF	57	DT 90S6*	26	198	
341	21	2.64	2910	3.3						



RF17 DT80N4.

	78)	DR63..	DT71D	DT80..						
<b>G</b>	(AC)	132	145	145						
<b>G1</b>	(AD)	99	122	122						
<b>G1B</b>		99	127	127						
<b>K</b>		364	379	429						
<b>KB</b>		419	443	493						
<b>KM</b>	(LB)	149	164	214						

ANEXO D. Gráfica de factor de relación longitud altura del tanque.



\*Los datos que se usaron para graficar esta curva se tomaron de "Vegyipari Készülékek Szerkesztése", Budapest, 1969, por Balázs Szántay.

ANEXO E. Tabla de propiedades para aceros inoxidable.

160

PROPIEDADES DE LOS MATERIALES - ACERO INOXIDABLE													
P-No. 8 Grupo No. 1													
COMPOSICION NOMINAL, 18 Cr - 8 Ni Cedencia mín. 30 000 lb/pulg <sup>2</sup> Tension mín. 75 000 lb/pulg <sup>2</sup>	TABLA 1					TABLA 3							
	Producto	No. de Espec.	Grado	Notas		Producto	No. de Espec.	Grado	Notas				
	Placa	SA-240	304	2 3		Placa	SA-240	316	2 3				
	Tubo s/c	SA-213	TP304	2		Placa	SA-240	317	2 3				
	Tubo s/c	SA-213	TP304H	—		Tubo s/c	SA-213	TP316	2				
	Tubo s/c	SA-312	TP304	2		Tubo s/c	SA-213	TP316H	—				
	Tubo s/c	SA-312	TP304H	—		Tubo s/c	SA-312	TP316	2				
	Tubo s/c	SA-376	TP304	2		Tubo s/c	SA-312	TP316H	—				
	Tubo s/c	SA-376	TP304H	—		Tubo s/c	SA-312	317	2				
	Tubo vaciado	SA-452	TP304H	—		Tubo s/c	SA-376	TP316	2				
COMPOSICION NOMINAL, 16 Cr - 12 Ni - 2Mo. Cedencia mín. 30 000 lb/pulg <sup>2</sup> Tension mín. 75 000 lb/pulg <sup>2</sup>	TABLA 2					TABLA 4							
	Producto	No. de Espec.	Grado	Notas		Producto	No. de Espec.	Grado	Notas				
	Placa	SA-240	304L	—		Placa	SA-240	316L	—				
	Tubo s/c	SA-213	TP304L	—		Tubo s/c	SA-213	TP316L	—				
	Tubo s/c	SA-312	TP304L	—		Tubo s/c	SA-312	TP316L	—				
	Forj.	SA-182	F304L	—		Forj.	SA-182	F316L	4				
	Barra	SA-479	304L	5		Barra	SA-479	316L	5				
	VALORES MAXIMOS DE ESFUERZO PERMITIDO, 1 000 lb/pulg <sup>2</sup>												
	MATERIALES DE LA TABLA	PARA TEMPERATURAS DEL METAL NO MAYORES DE, GRADOS F										NOTAS	
		-20-100	200	300	400	500	600	650	700	750	800		850
1	18.8	17.8	16.6	16.2	15.9	15.9	15.9	15.9	15.5	15.2	14.9	14.7	1
	18.8	15.7	14.1	12.9	12.1	11.4	11.2	11.1	10.8	10.6	10.4	10.2	
2	15.7	15.7	15.3	14.7	14.4	14.0	13.7	13.5	13.3	13.0	—	—	1
	15.7	13.4	12.0	11.0	10.3	9.7	9.5	9.4	9.2	9.1	—	—	
3	18.8	18.8	18.4	18.1	18.0	17.0	16.7	16.3	16.1	15.9	15.7	15.5	1
	18.8	16.2	14.6	13.4	12.5	11.8	11.6	11.3	11.2	11.0	10.9	10.8	
4	15.7	15.7	15.7	15.5	14.4	13.5	13.2	12.9	12.6	12.4	12.1	—	1
	15.7	13.3	11.9	10.8	10.0	9.4	9.2	9.0	8.8	8.6	8.4	—	
MATERIALES DE LA TABLA	PARA TEMPERATURAS DEL METAL NO MAYORES DE, GRADOS F										NOTAS		
	950	1000	1050	1100	1150	1200	1250	1300	1350	1400		1450	1500
1	14.4	13.8	12.2	9.8	7.7	6.1	4.7	3.7	2.9	2.3	1.8	1.4	1
	10.0	9.8	9.5	8.9	7.7	6.1	4.7	3.7	2.9	2.3	1.8	1.4	
3	15.4	15.3	14.5	12.4	9.8	7.4	5.5	4.1	3.1	2.3	1.7	1.3	1
	10.7	10.6	10.5	10.3	9.3	7.4	5.5	4.1	3.1	2.3	1.7	1.2	
NOTAS:													
1. Estos valores de esfuerzo mayores exceden en 2/3, pero no exceden del 90% de la resistencia a la cedencia a tal temperatura. El uso de estos valores puede producir cambios dimensionales debidos a la deformación permanente. No se recomiendan estos valores de esfuerzo para bridas ni juntas empacadas ni en otras aplicaciones en las que una deformación ligera pueda ocasionar fuga o mal funcionamiento.													
2. A temperaturas superiores a 100°F, estos valores de esfuerzo se aplican solamente cuando se tiene 0.04% de carbono o más.													
3. Para temperaturas superiores a 100°F, estos valores de esfuerzo pueden usarse sólo si el material se trata térmicamente, calentándolo a una temperatura mínima de 1 900°F y enfriándolo rápidamente en agua o por algún otro medio.													
4. Resistencia mínima especificada a tensión, 65 000 lb/pulg <sup>2</sup>													
5. El uso de tablas de presión externa para el material en forma de barra de medidas estándares se permite únicamente para anillos atornillados.													

## ANEXO F. Propiedades de la banda transportadora.

BANDAS TRANSPORTADORAS Y DE PROCESO													
Tipo	Confor- midad FDA	Antiest. perm.	Tejido de desliza- miento silencioso (LdB)	Color cobertura lado transporte	Espe- sor total	Peso	Diámetro mínimo	Tracción		Resistencia temperatura [°C]		Ancho máx. produc.	Coef. de fricción compar.
					[mm]	[kg/m <sup>2</sup> ]	[mm]	al 1%	máx adm.	min.	máx.	[mm]	
<b>PVC</b>													
1M6 U0-V5		○	○	verde	1,0	1,0	20	6	6	-10	+60	3000	MF
1M6 U0-V5 W	○		○	blanco	1,0	1,0	20	6	6	-10	+60	3000	MF
1M6 U0-V5 N		○	○	negro	1,0	1,0	30	6	6	-10	+60	3000	LF
1M6 V5-V5		○		verde	1,8	1,9	30	6	6	-10	+60	3000	MF
2MT5 U0-V3			○	verde	1,8	1,9	30	6	12	-10	+60	3000	LF
2MT5 U0-V3 N		○	○	negro	1,8	1,9	30	6	12	-10	+60	3000	LF
2M8 U0-V-U0	○	○		crudo	1,5	1,4	30	8	16	-10	+60	3000	LF
2T8 0-V-0	○	○		crudo	1,7	1,5	30	8	16	-10	+60	2600	LF
2T8 U0-V-0	○			crudo	1,4	1,4	30	8	16	-10	+60	3000	LF
2M8 U0-V5 A		○		verde	2,0	2,2	30	8	16	-10	+60	3000	MF
2M8 U0-V5				verde	2,0	2,2	30	8	16	-10	+60	3000	MF
2M8 U0-V5 FM		○		verde	2,1	2,2	30	8	16	-10	+60	3000	MF
2M8 U0-V5 W	○			blanco	2,0	2,2	30	8	16	-10	+60	3000	MF
2M8 U0-V5 PN W	○			blanco	2,2	2,2	30	8	16	-10	+60	2000	MF
2M8 U0-V5 FM N		○		negro	2,1	2,2	30	8	16	-10	+60	2000	MF
2M8 V5-V5 W	○			blanco	2,7	3,0	50	8	16	-10	+60	3000	HF
2M8 U0-V17 GP		○		verde	5,2	3,6	50	8	16	-10	+60	2000	HF
2M12 U0-V-U0		○	○	verde	1,7	1,6	60	12	24	-10	+60	3000	LF
2T12 U0-V0				verde	2,5	2,8	80	12	24	-10	+60	2000	LF
2M12 U0-V3		○	○	verde	1,9	2,0	60	12	24	-10	+60	3000	MF
2M12 U0-V3 N		○	○	negro	1,9	2,0	30	12	24	-10	+60	3000	LF
2M12 U0-V8 RT		○	○	verde	2,3	2,4	50	12	24	-10	+60	2000	HF
2M12 U0-V10 A		○	○	verde	2,5	2,7	60	12	24	-10	+60	3000	MF
2M12 U0-V10		○	○	verde	2,5	2,7	80	12	24	-10	+60	3000	MF
2M12 U0-V10 W	○		○	blanco	2,5	2,7	60	12	24	-10	+60	3000	MF
2M12 U0-V10 N		○	○	negro	2,9	3,2	80	12	24	-10	+60	3000	LF
2M12 U0-V10 FR		○	○	antracita	2,5	2,6	50	12	24	-10	+60	3000	MF
2M12 U0-V10 RT FR		○	○	antracita	2,5	2,6	50	12	24	-10	+60	2000	HF
2T12 U0-V10		○		verde	2,5	2,7	60	12	24	-10	+60	3000	MF
2T12 U0-V10 W	○			blanco	2,5	2,7	60	12	24	-10	+60	3000	MF
2T12 U0-V10 FM FR		○		antracita	2,6	2,7	50	12	24	-10	+60	3000	MF
2M12 V5-V10				verde	3,0	3,4	80	12	24	-10	+60	2000	MF
2T12 V5-V10 W	○			blanco	2,9	3,5	80	12	24	-10	+60	2000	MF
2M12 U0-V15 FB W	○		○	blanco	4,1	3,5	80	12	24	-10	+60	2000	MF
2M12 U0-V15 ST W	○		○	blanco	3,8	3,5	80	12	24	-10	+60	2000	MF
2M12 U0-V15 LT W	○		○	blanco	5,8	3,5	80	12	24	-10	+60	500	MF
2M12 U0-V15 CL W	○		○	blanco	5,5	3,9	80	12	24	-10	+60	2000	MF
2M12 U0-V20 GP		○	○	verde	5,5	3,9	50	12	24	-10	+60	2000	HF
2M12 U0-V20 GP FR		○	○	antracita	5,5	3,9	50	12	24	-10	+60	2000	HF
2M12 U0-V20 FB FR		○	○	antracita	4,6	4,5	50	12	24	-10	+60	2000	MF
2T12 U0-V20 GP W	○			blanco	5,5	3,9	50	12	24	-10	+60	2000	HF
2M20 U0-V25 RT			○	verde	4,8	5,5	100	20	40	-10	+60	2000	MF
2T20 V10-V10 W	○	○		blanco	4,6	5,4	150	20	40	-10	+60	2000	MF
3T18 U0-V0				verde	3,7	4,2	120	18	36	-10	+60	2000	LF
3M18 U0-V15		○	○	verde	4,0	4,6	100	18	36	-10	+60	3000	MF
3M18 U0-V15 W	○		○	blanco	4,0	4,6	100	18	36	-10	+60	3000	MF
3T18 U0-V15		○		verde	4,0	4,6	100	18	36	-10	+60	3000	MF
3T18 U0-V15 W	○			blanco	4,0	4,6	100	18	36	-10	+60	3000	MF
3T30 V10-V10 W	○	○		blanco	6,5	7,4	200	30	60	-10	+60	2000	MF
3M30 U0-V25 RT			○	verde	6,6	7,0	200	30	60	-10	+60	2000	MF

Diámetro mínimo calculado en base al tipo de empalme recomendado por CHORINO

## MÉTODOS DE EMPALME

CHIORINO

Los tipos de empalme descritos a continuación han sido estudiados para cumplir con los requisitos que pueden encontrarse en múltiples aplicaciones. Están directamente relacionados con el tipo de banda elegida así como con las condiciones de trabajo.

- **Empalmes EN ZETA** (fig. 1+ 4): aseguran la máxima flexibilidad y regularidad en toda la zona de empalme.
- **Empalmes SOBREPUESTOS** (fig. 5, 6): específicos para unos tipos de banda y de aplicación como alternativa a los métodos tradicionales en doble y triple zeta.
- **Empalmes MECANICOS** (fig. 7, 8): se emplean cuando se requiere rapidez en montar y desmontar la banda o bien cuando haya dificultad en efectuar el empalme sobre instalación.
  - **Tipo M/G**: sistema apto para toda clase de bandas. Necesita equipos especiales para su aplicación.
  - **Tipo M/M**: sistema apto para bandas de dos o más capas. No necesita equipos especiales para su aplicación.

### EMPALMES EN ZETA

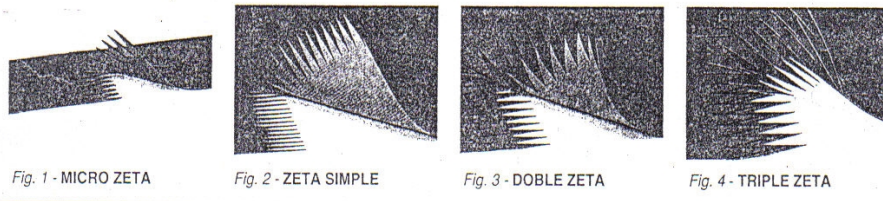


Fig. 1 - MICRO ZETA

Fig. 2 - ZETA SIMPLE

Fig. 3 - DOBLE ZETA

Fig. 4 - TRIPLE ZETA

### EMPALMES SOBREPUESTOS

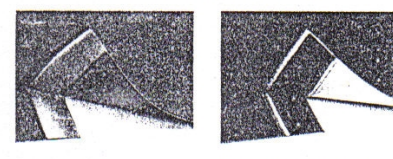


Fig. 5 - BISEL

Fig. 6 - TRIPLE BISEL

### EMPALMES CON GRAPAS METALICAS

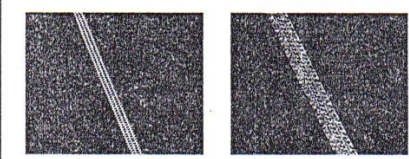


Fig. 7 - TIPO M/G

Fig. 8 - TIPO M/M

## FORMA DE CONSTRUCCION DE LOS RODILLOS

b = ancho tambor

b<sub>c</sub> = ancho parte cilíndrica tambor

b<sub>e</sub> = ancho banda

d<sub>e</sub> = diámetro exterior

e = conicidad

**FORMULAS PARA DETERMINAR LOS VALORES:**

1) Cálculo del ancho del tambor:

$$b = 1,1 \cdot b_e + 10 \text{ [mm]}$$

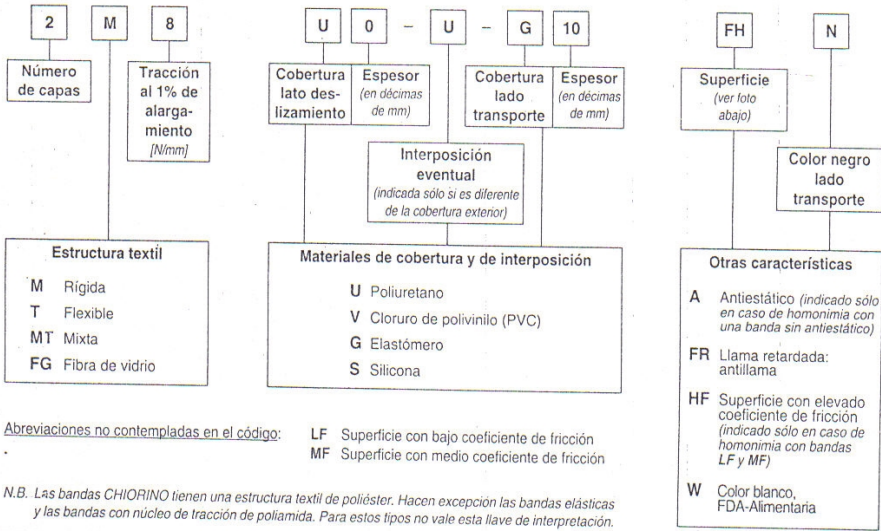
2) Cálculo de la conicidad:

$$e = \frac{d_e + 100}{500} \text{ [mm]}$$

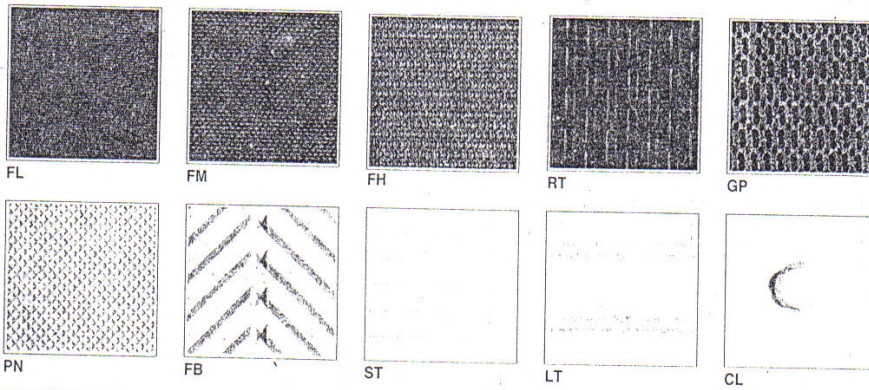
3) Cálculo de la parte cilíndrica con respecto al ancho total del tambor:

$$b_c = \frac{b}{2} \text{ [mm]}$$

**EJEMPLO:**



**SUPERFICIE (dimensiones efectivas)**



**COEFICIENTE DE FRICCIÓN LADO DESLIZAMIENTO**


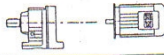
Tipo de cobertura	Chapa acero	Chapa plást. o madera	Tambor acero	Tambor forrado
0, U0	0,20	0,25	0,20	0,30
U3, U5	0,40	0,50	0,40	0,60
V5, V10	no aplicable		0,40	0,60
S0	0,30	0,40	0,30	0,50

**TOLERANCIAS PARA BANDAS SIN FIN Y TRAMOS**

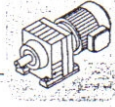
Ancho [mm]			Largo [mm]			
desde 0 hasta 500	desde 501 hasta 1000	desde 1001 hasta 3000	desde 0 hasta 2500	desde 2501 hasta 5000	desde 5001 hasta 10000	más de 10000
± 1,0%	± 0,8%	± 0,5%	± 0,5%	± 0,4%	± 0,3%	± 0,2%

Las tolerancias arriba mencionadas no prevén variaciones debidas a condiciones ambientales.

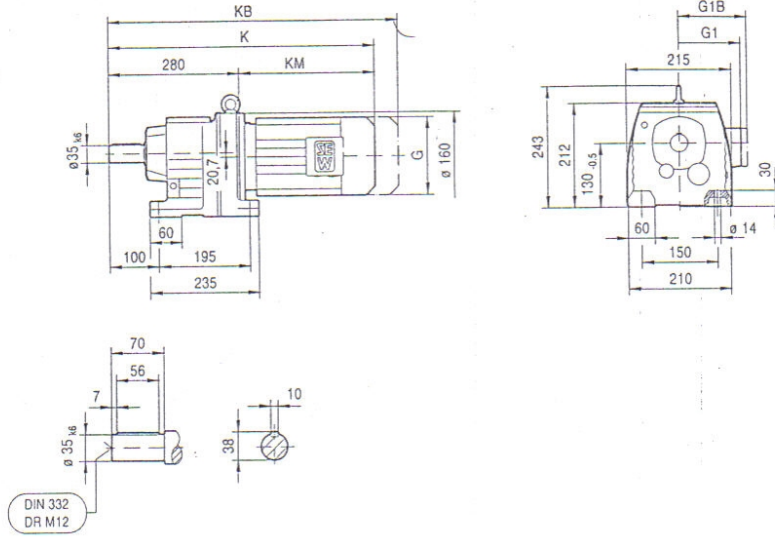
# ANEXO G. Especificaciones técnicas del motoreductor SEW RF67 DT80N4.

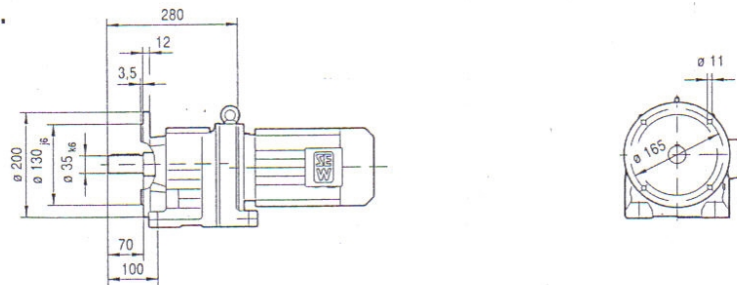
$P_m$ [kW]	$n_a$ [1/min]	$M_a$ [Nm]	$i$	$F_{Ra}^{1)}$ [N]	SEW-f <sub>B</sub>	$m$ [kg]	$k$	
0.75	11	670	128.97	4040	0.90			
	12	590	113.94	7660	1.00			
	13	550	105.83	8120	1.10			
	14	500	95.91	8600	1.20			
	16	445	86.11	9010	1.35	R 67	DT 80N4*	35 171
	19	385	74.17	9430	1.55	RF 67	DT 80N4*	38 184
	20	360	69.75	9570	1.65			
	23	320	61.26	9800	1.90			
	24	295	56.89	9910	2.0			
	27	270	51.56	10000	2.2			
	30	240	46.29	10100	2.5			
		13	555	106.58	4610	0.80		
14		515	98.99	6200	0.90			
15		465	89.71	7040	0.95	R 57	DT 80N4*	28 170
17		420	80.55	7240	1.10	RF 57	DT 80N4*	32 183
20		360	69.23	7450	1.25			
21		335	64.85	7430	1.35			
24		295	57.29	7220	1.50			
26		275	53.22	7090	1.65			
	29	250	48.23	6930	1.80			
	32	225	43.30	6740	2.0	R 57	DT 80N4*	28 170
	37	194	37.30*	6490	2.3	RF 57	DT 80N4*	32 183
	39	182	35.07	6380	2.5			
	46	157	30.18	6130	2.9			
	51	140	26.97	5940	3.2			
	52	137	26.31	5900	3.3	R 57	DT 80N4*	27 170
	55	130	24.99*	5820	3.5	RF 57	DT 80N4*	31 183
	63	114	21.93	5610	4.0			
	74	97	18.60*	5350	4.7			
	20	355	68.54	3660	0.85	R 47	DT 80N4*	23 169
	21	335	64.21	4950	0.90	RF 47	DT 80N4*	23 182
	24	295	56.73	5450	1.00			
	26	275	52.69	5480	1.10			
	29	250	47.75	5370	1.20			
	32	225	42.87	5240	1.35	R 47	DT 80N4*	23 169
	37	192	36.93	5060	1.55	RF 47	DT 80N4*	23 182
	40	180	34.73	4980	1.65			
	46	155	29.88	4800	1.95			
	52	139	26.70	4660	2.2			
	58	122	23.59	4510	2.5			
	52	139	26.74	4660	2.2			
	59	121	23.28	4490	2.5			
	63	113	21.81	4420	2.7	R 47	DT 80N4*	23 169
	72	100	19.27	4270	3.0	RF 47	DT 80N4*	23 182
	77	93	17.89	4180	3.1			
	85	84	16.22	4070	3.3			
	29	250	48.08	2330	0.80	R 37	DT 80N4*	19 168
	31	235	44.81	4230	0.85	RF 37	DT 80N4*	20 181
	35	205	39.17	4720	1.00			
	38	191	36.72	4740	(1.05)			
	43	168	32.40	4610	1.20	R 37	DT 80N4*	19 168
	48	149	28.73	4490	1.35	RF 37	DT 80N4*	20 181
	57	127	24.42	4320	1.60			
	62	116	22.27	4230	1.75			
	71	100	19.31	4080	2.0			
	76	94	18.05	4010	2.1			
	88	81	15.60	3850	2.5	R 37	DT 80N4*	18 168
	104	69	13.25	3690	2.8	RF 37	DT 80N4*	20 181
	117	61	11.83	3570	3.0			
	137	53	10.11	3420	3.2			
	146	49	9.47	3360	3.4			
	48	149	28.78	2880	0.85	R 27	DT 80N4*	13 167
	56	127	24.47	2800	1.00	RF 27	DT 80N4*	13 180



R67..



R67F..



	DR63..	DT71D	DT80..	DT90..	DV100M	DV100L	DV112M	DV132S	DV132M		
<b>G</b> (AC)	132	145	145	197	197	197	221	221	275		
<b>G1</b> (AD)	99	122	122	154	166	166	176	176	230		
<b>G1B</b>	99	127	127	161	166	166	182	182	230		
<b>K</b>	465	479	529	549	599	629	634	682	704		
<b>KB</b>	520	543	593	634	684	714	714	762	816		
<b>KM</b> (LB)	185	199	249	269	319	349	354	402	424		

## ANEXO H. Resistencia a la durabilidad para aceros.

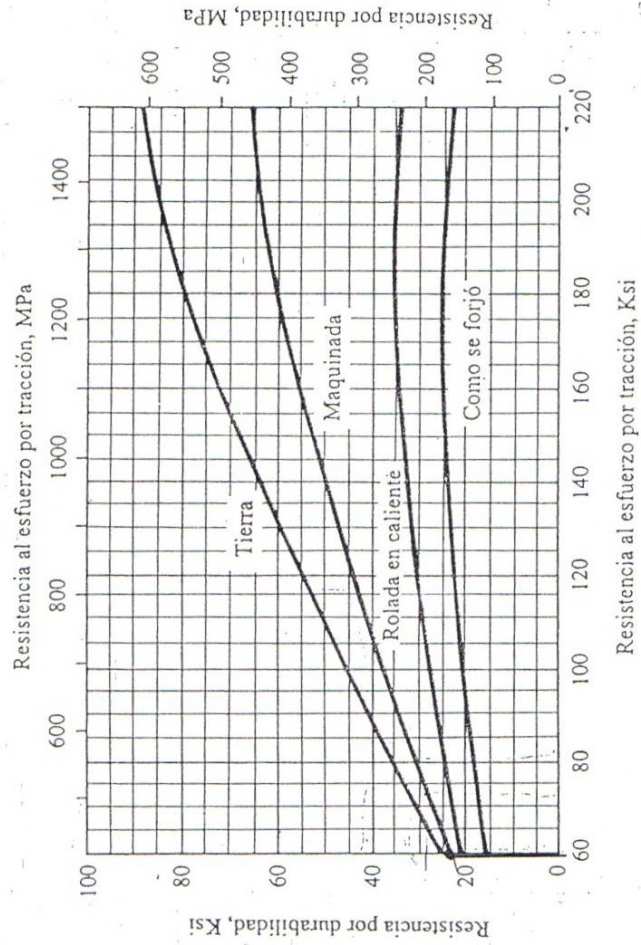


Figura 5-9 Tensión por durabilidad contra resistencia al esfuerzo por tracción para acero forjado para varias condiciones superficiales

ANEXO I. Factor de tamaños para ejes.

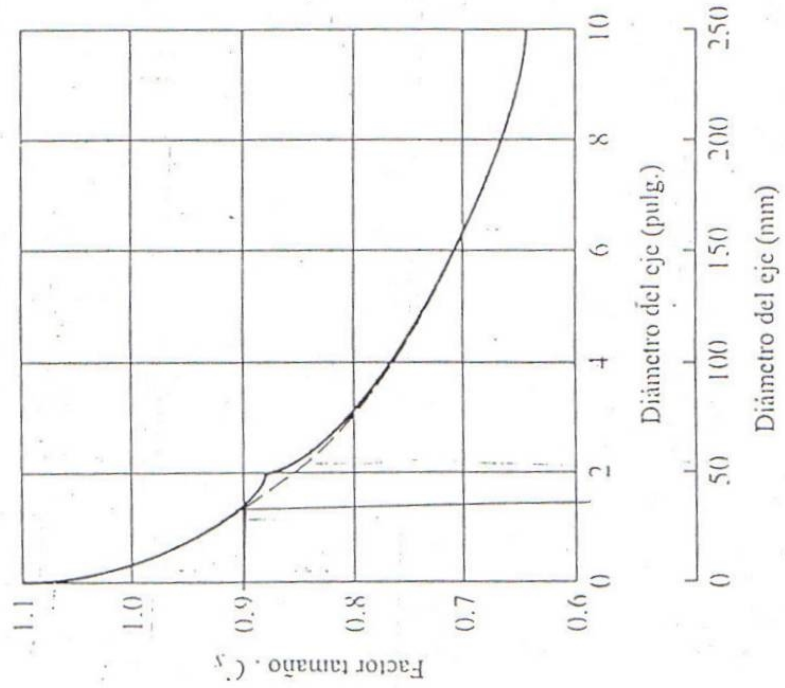



Figura 9-8 Factor de tamaño para diseño de ejes

## ANEXO J. Punto de operación de la bomba seleccionada.

LÍNEA CARACOL

H-203 / H-205 / H-207

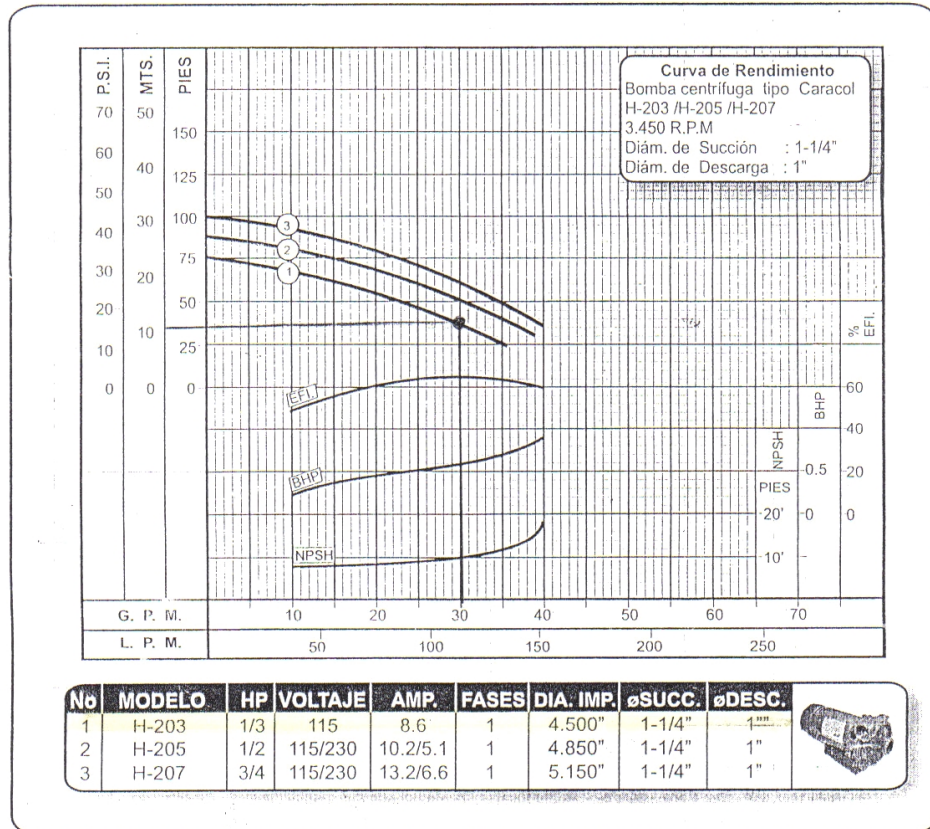


**CARACTERISTICAS**

Bomba centrífuga de construcción monobloque fabricada en hierro fundido.  
 Diámetro de succión de 1-1/4" y descarga de 1"  
 Impulsor cerrado fabricado en plástico de alta resistencia  
 Temperatura máxima de operación 70°C  
 Motores a prueba de goteo, 3.450 RPM, 60Hz,  
 NEMA C 56J

**APLICACION**

Uso doméstico  
 Aprovechamiento de aguas limpias  
 Refrigeración de maquinaria  
 Llenado de tanques y bebederos  
 Lavado de establos  
 Recirculación de agua en piscinas  
 Pequeños equipos de presión

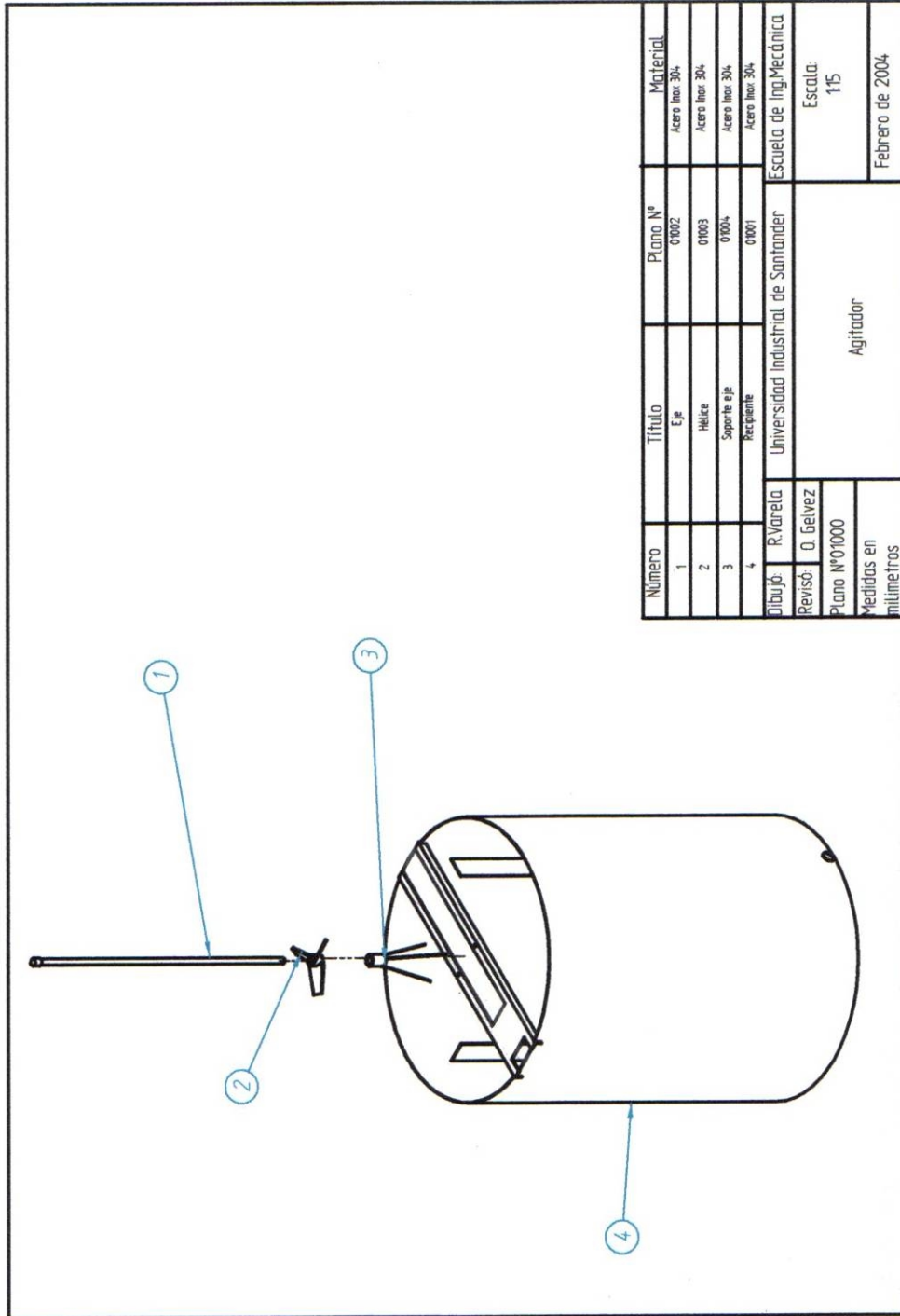


PBX: 3-377077 / 4-056565  
 F A X : 2 - 6 9 2 3 5 9

BARNES DE COLOMBIA S.A.  
 PLANTA: CALLE 15 No 41-17  
 Bogotá D.C. Colombia

www.barnes.com.co  
 e-mail: ventas@barnes.com.co

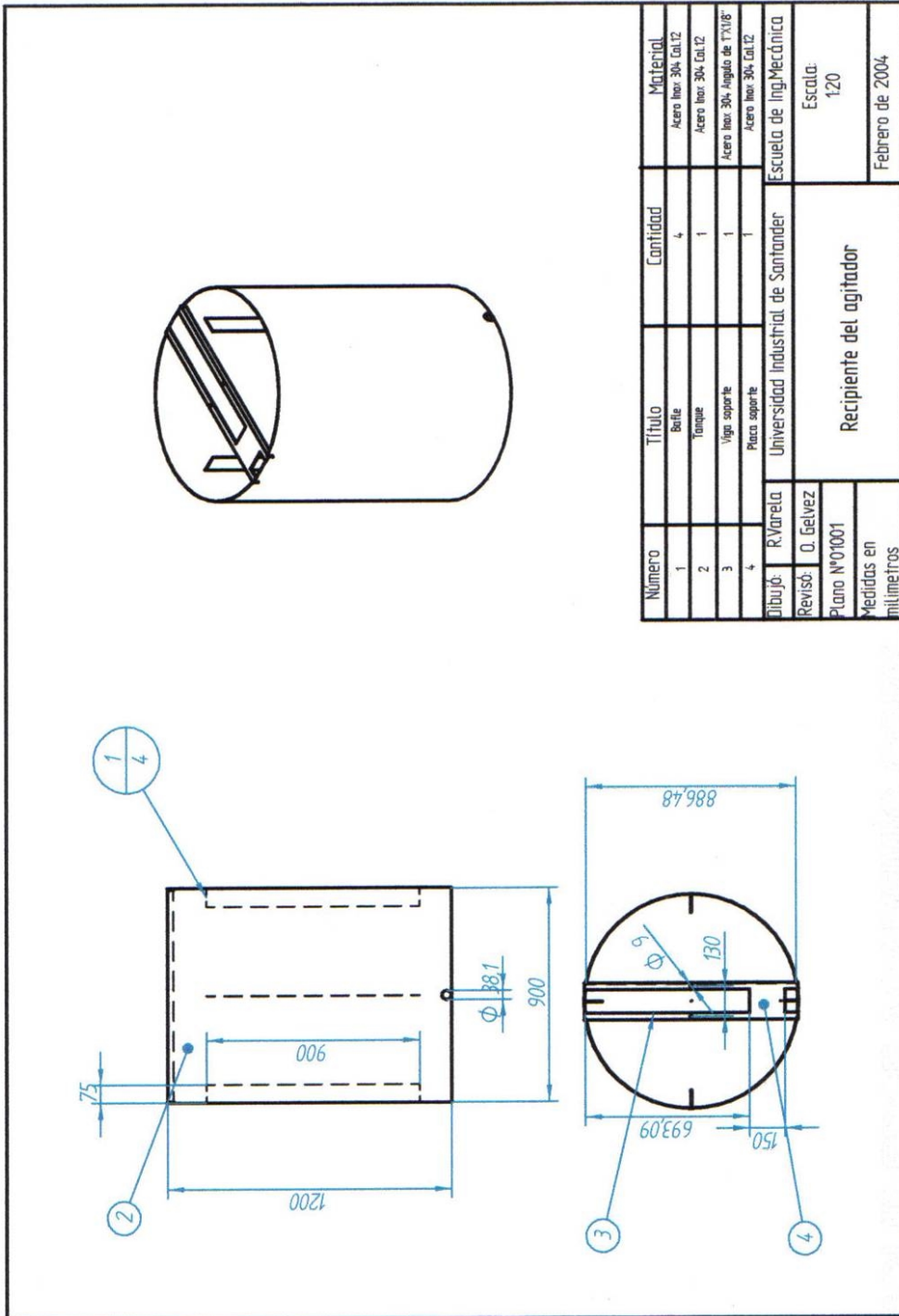
## **PLANOS**

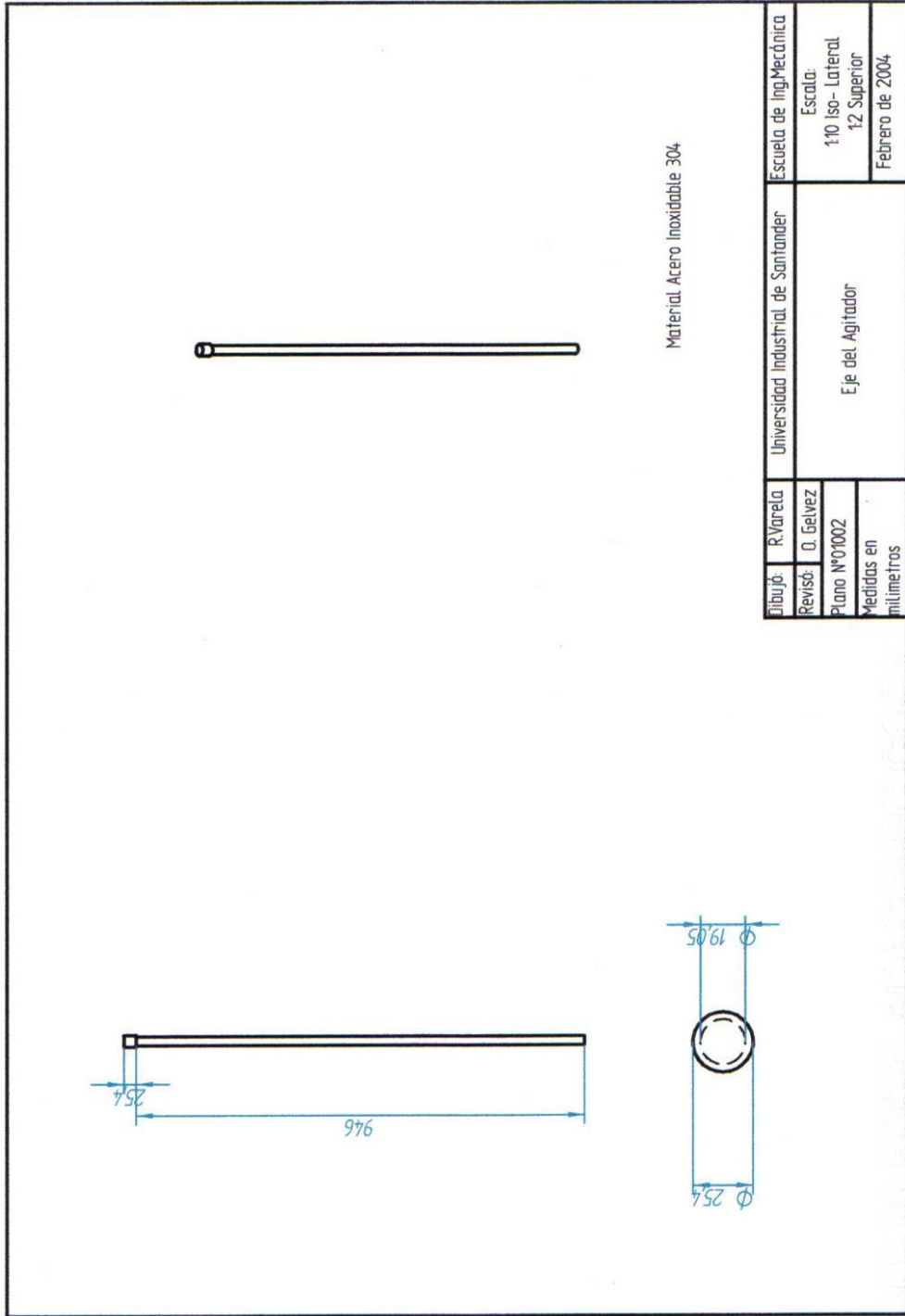


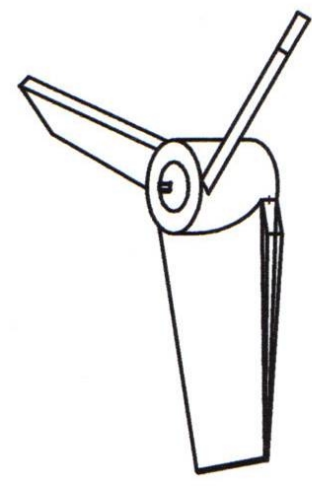
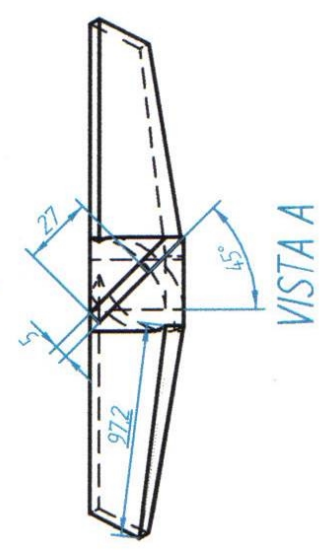
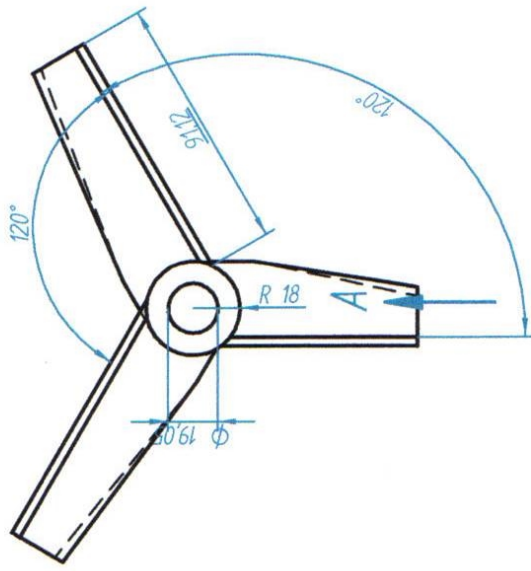
Número	Título	Plano N°	Materia
1	Eje	0002	Acero Inox. 304
2	Helice	0003	Acero Inox. 304
3	Soporte eje	0004	Acero Inox. 304
4	Recipiente	0001	Acero Inox. 304

Dibujó:	R.Varela	Universidad Industrial de Santander	Escuela de Ing.Mecánica
Revisó:	D. Gelvez		Escala:
Plano N°	01000	Agitador	1:15
Medidas en milímetros			Febrero de 2004

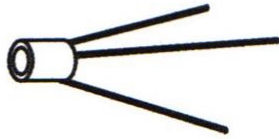
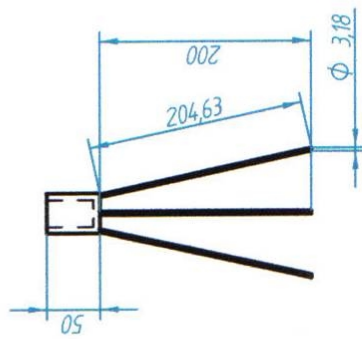






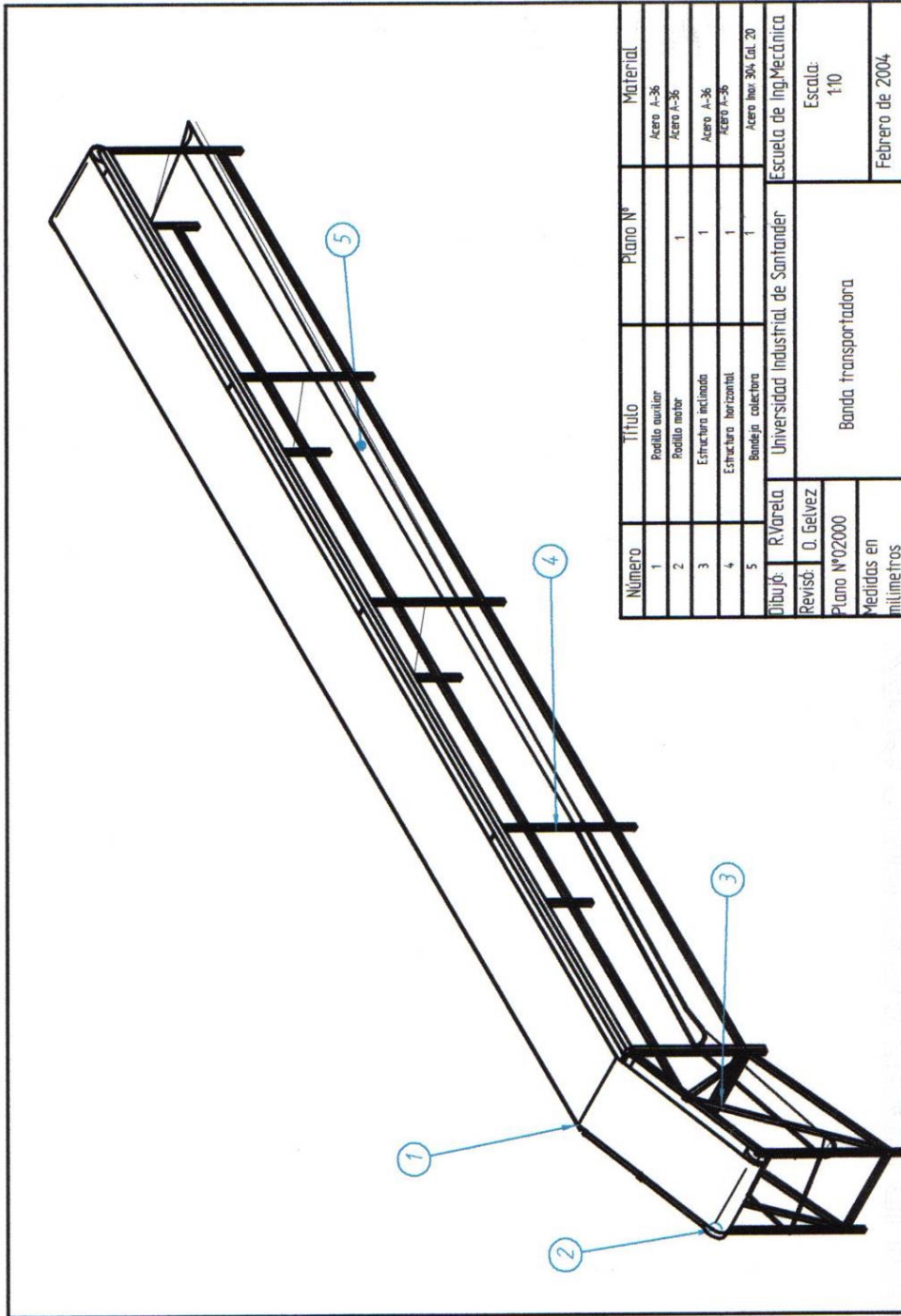
Material: Acero Inoxidable 304

Dibujó:	R.Varela	Universidad Industrial de Santander	Escuela de Ing.Mecánica
Revisó:	D. Getvez		Escala: 1:10
Plano N°:	01003	Hélice	
Medidas en milímetros			Febrero de 2004

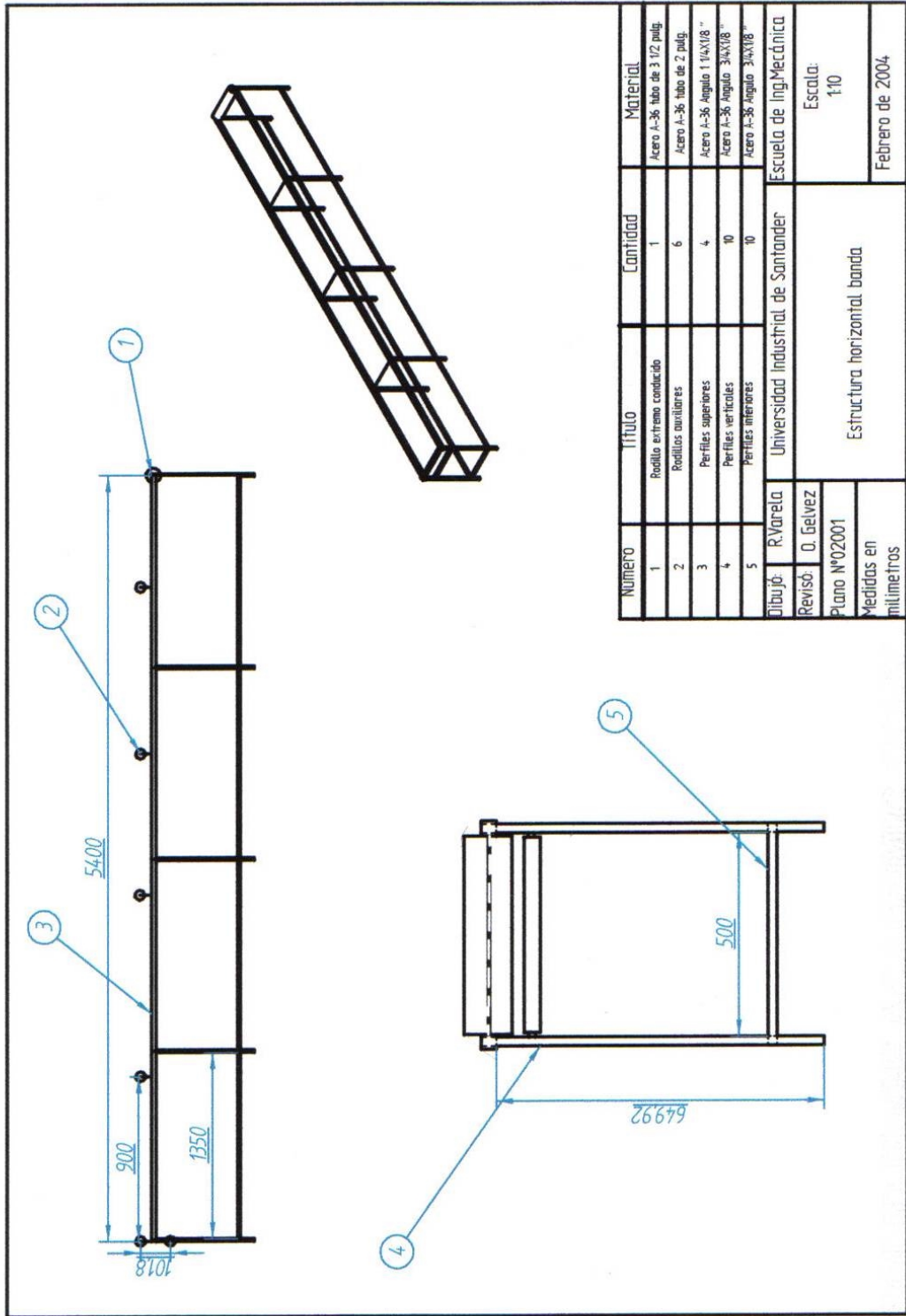


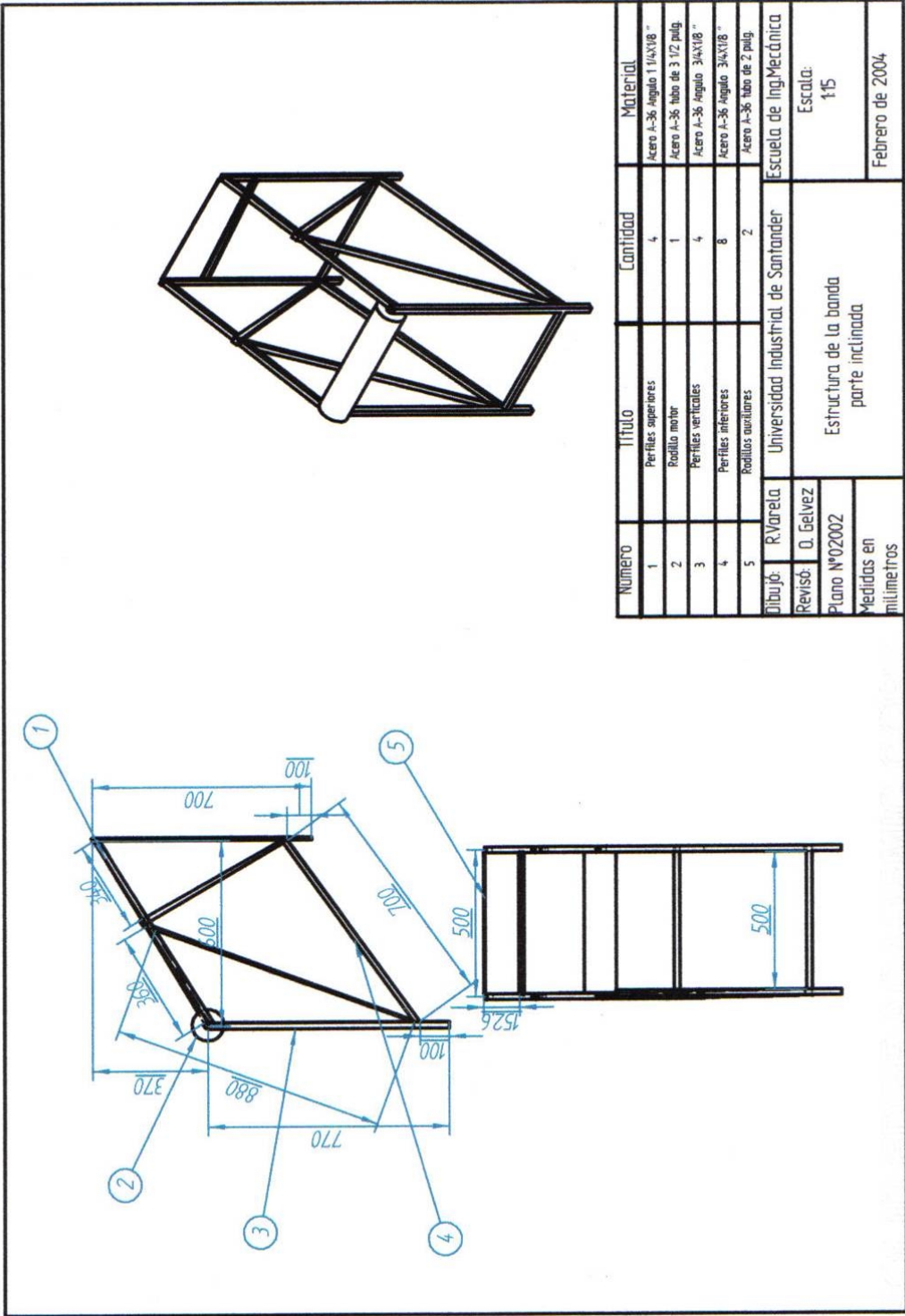
Material Acero Inoxidable 304  
 Buje interno en Teflon

Dibujó:	R.Varela	Universidad Industrial de Santander	Escuela de Ing.Mecánica
Revisó:	D. Belvez	Soporte interno del agitador	Escala: 15
Plano N°01004			Febrero de 2004
Medidas en milímetros			

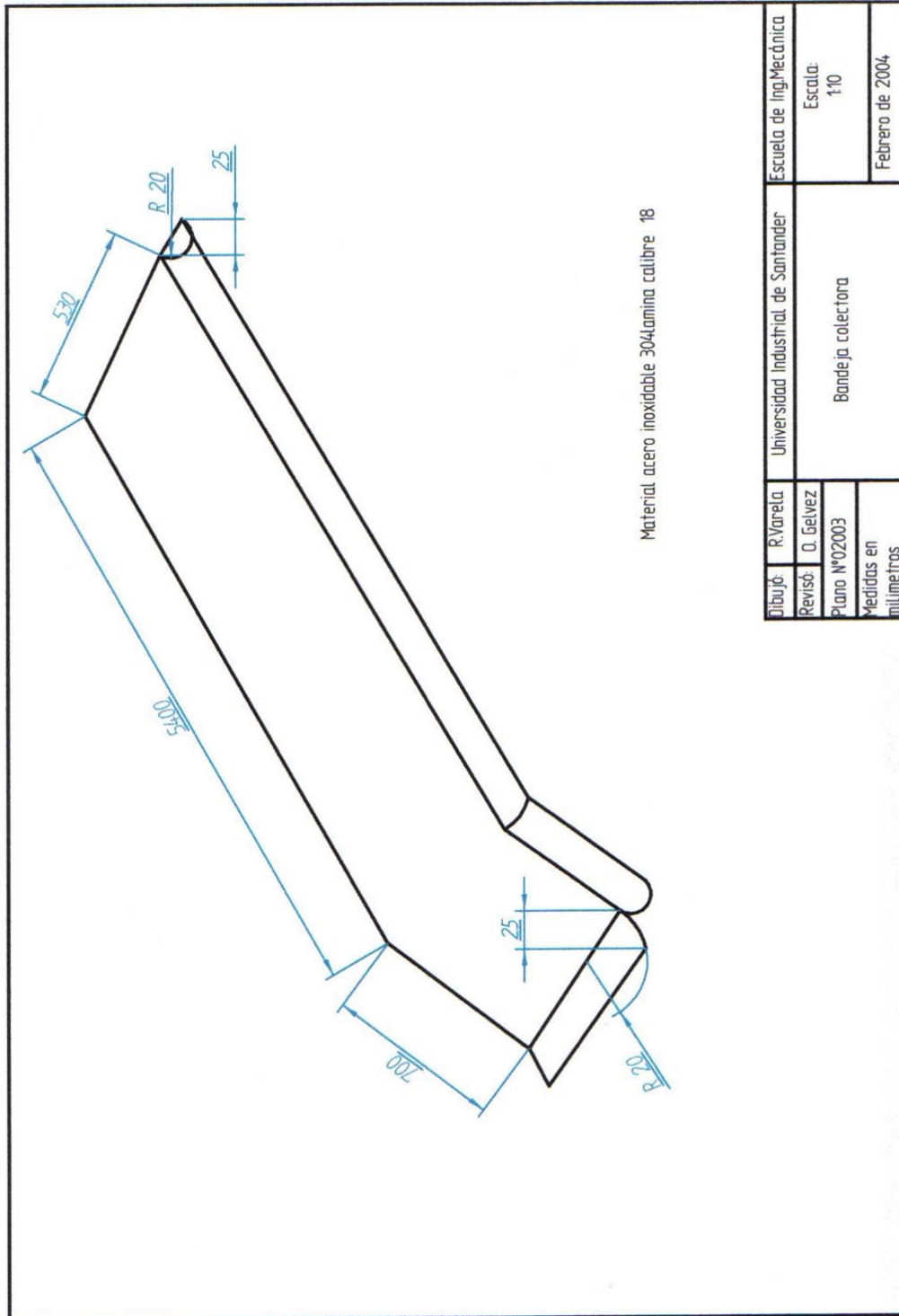


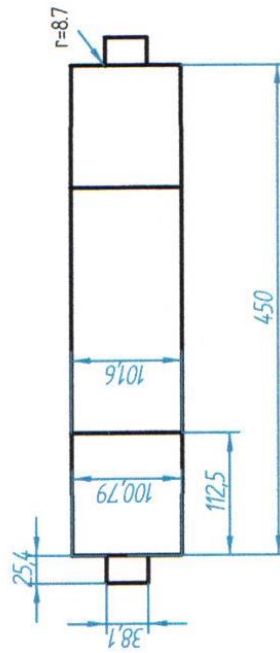
Número	Título	Plano N°	Material
1	Perfil auxiliar		Acero A-36
2	Perfil motor	1	Acero A-36
3	Estructura inclinada	1	Acero A-36
4	Estructura horizontal	1	Acero A-36
5	Bandeja colectora	1	Acero Inox 304, Gal. 20
Dibujó: R.Varela		Universidad Industrial de Santander	
Revisó: D. Gelvez		Escuela de Ing. Mecánica	
Plano N° 02000		Banda transportadora	
Medidas en milímetros		Escala: 1:10	
		Febrero de 2004	



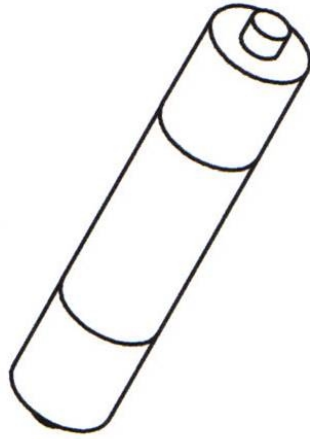


Numero	Titulo	Cantidad	Material
1	Perfiles superiores	4	Acero A-36 Angulo 1 1/4x1/8"
2	Podillo motor	1	Acero A-36 tubo de 3 1/2 pulg
3	Perfiles verticales	4	Acero A-36 Angulo 3/4x1/8"
4	Perfiles inferiores	8	Acero A-36 Angulo 3/4x1/8"
5	Podillos auxiliares	2	Acero A-36 tubo de 2 pulg.
Dibujó: R.Varela		Universidad Industrial de Santander	
Revisó: O. Gelvez		Escuela de Ing.Mecánica	
Plano N°02002		Estructura de la banda parte inclinada	
Medidas en milímetros		Escala: 1:5	
		Febrero de 2004	

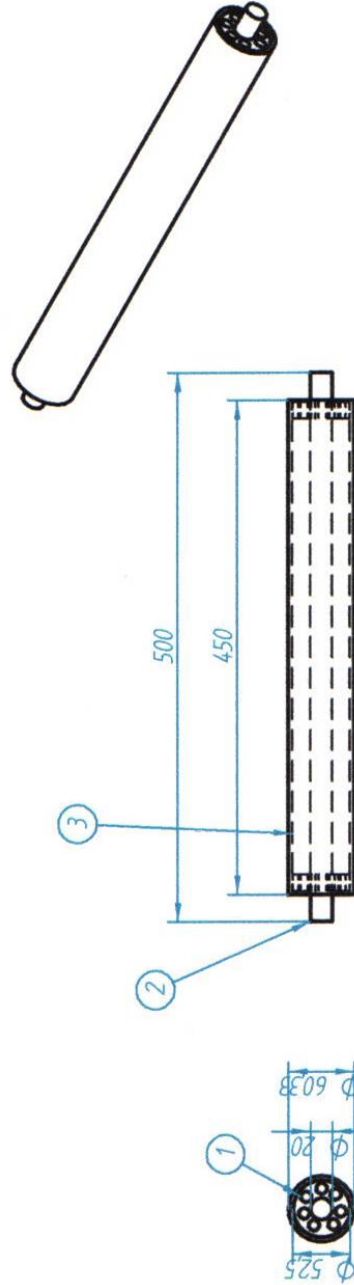




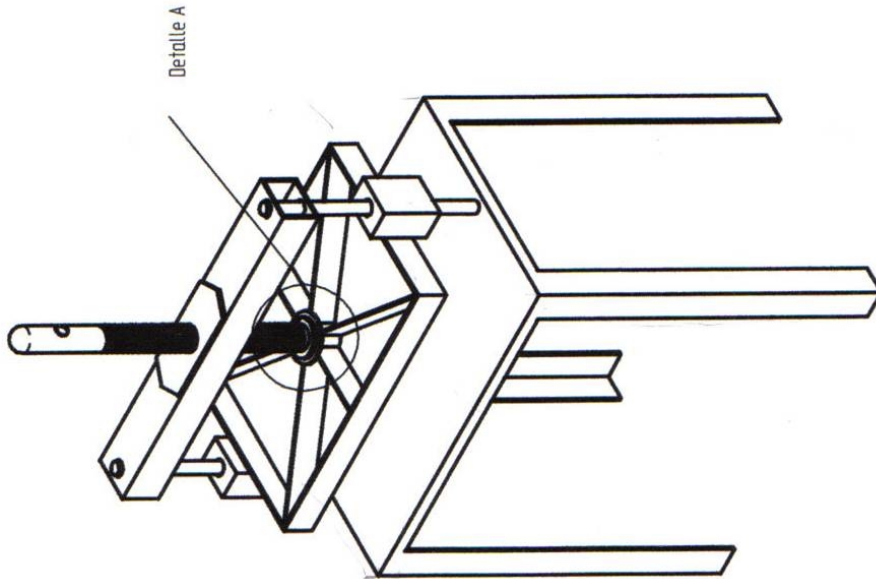
Material acero A-36 Tubo de  
 $D_n=3 \frac{1}{2}$  pulg



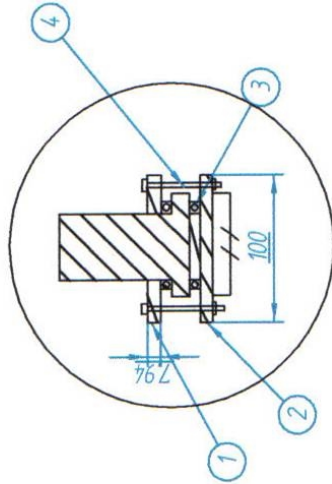
Dibujó:	R.Varela	Universidad Industrial de Santander	Escuela de Ing.Mecánica
Revisó:	D. Gelvez	Rodillo motor y extremo conducido	Escala: 1:5
Plano N°02004			Febrero de 2004
Medidas en milímetros			



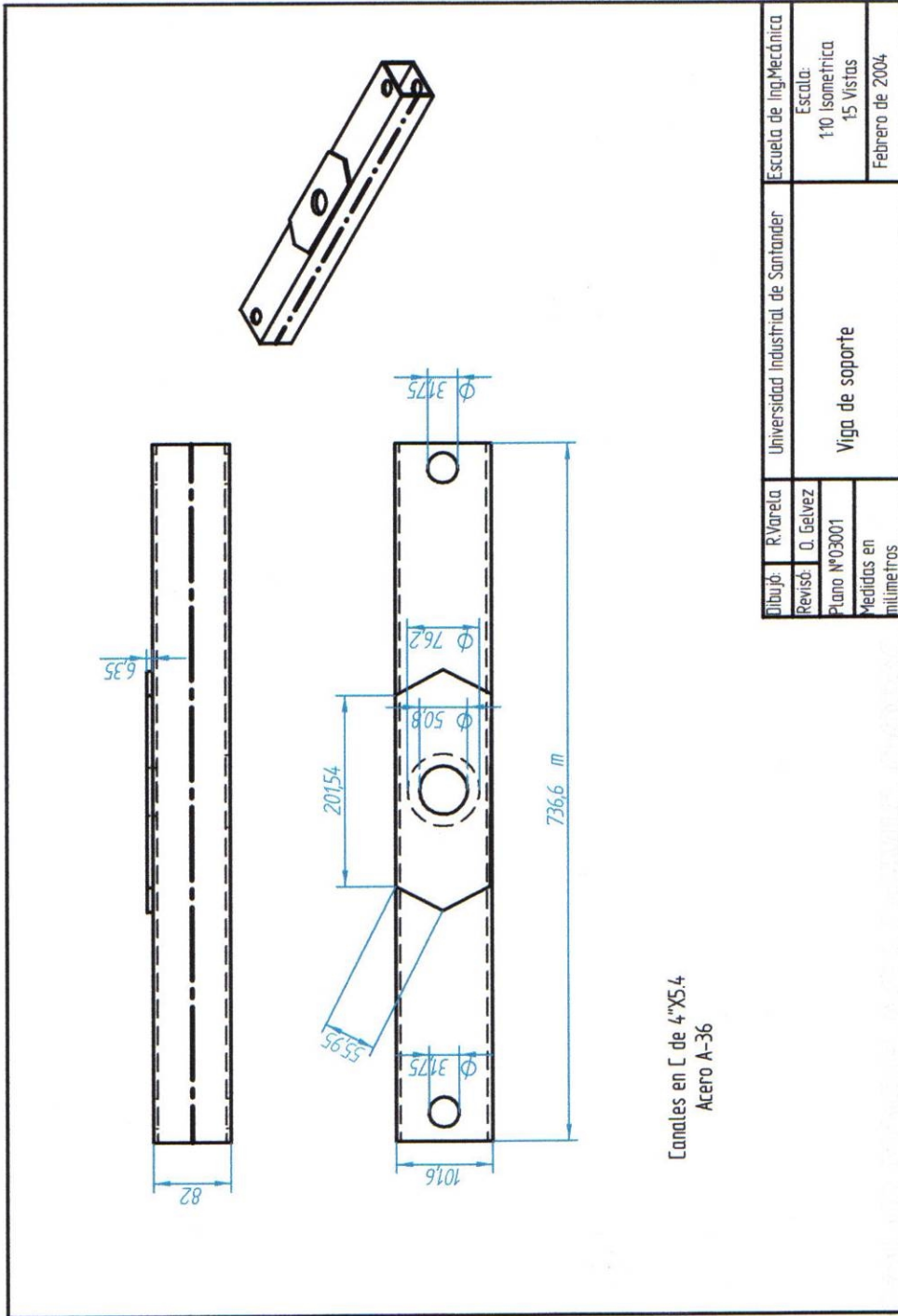
Numero	Titulo	Cantidad	Material
1	Rodamiento	2	MSK 6304-Balas
2	Eje	1	Acero A-36
3	Rodillo	1	Acero A-36, Tubo Dia=2 pulg
Dibujó:	R.Varela	Escuela de Ing.Mecánica	
Revisó:	O. Gelvez	Escala: 15	
Plano N°02005	Rodillo auxiliar		
Medidas en milímetros	Febrero de 2004.		



Detalle A



Numero	Título	Cantidad	Material
1	Placa de apriete	1	Acero A-36 Espesor 1/8"
2	Placa de presión	1	Acero A-36 Espesor 5/16"
3	Rodamiento	2	NSK 51200 Balas asiento externo
4	Tornillo	4	Acero 1020 Dn = 1/8"
Dibujó:	R.Varela	Universidad Industrial de Santander	Escuela de Ing.Mecánica
Revisó:	D. GELVEZ		Escala: 1:10
Plano N°03000		Presna.	
Medidas en milímetros			Febrero de 2004.



Canales en C de 4"X5.4  
Acero A-36

Dibujó:	R.Varela	Universidad Industrial de Santander	Escuela de Ing.Mecánica
Revisó:	O. Galvez	Viga de soporte	Escala: 1:10 Isométrica 15 Vistas
Plano N°:	03001		Febrero de 2004
Medidas en milímetros			

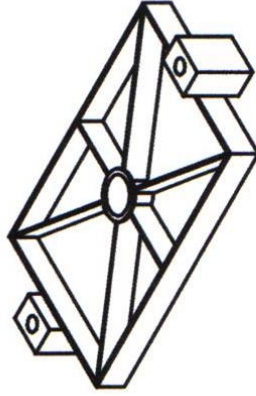
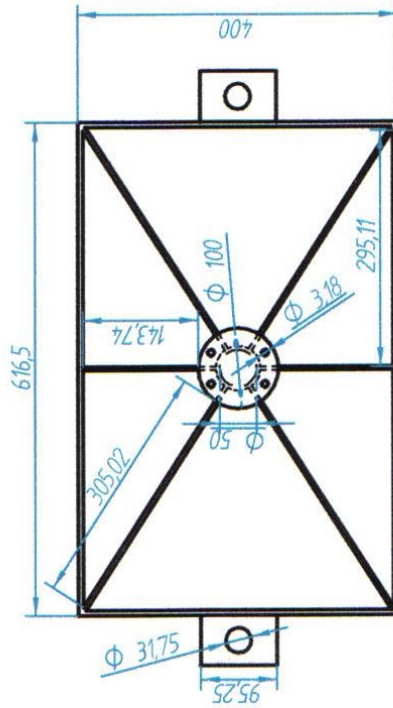
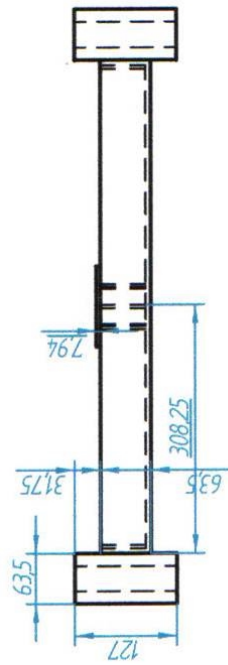
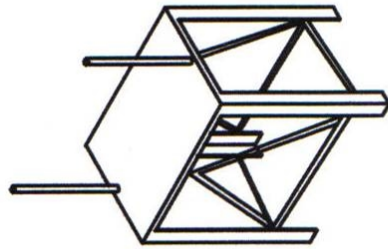
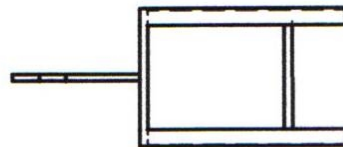
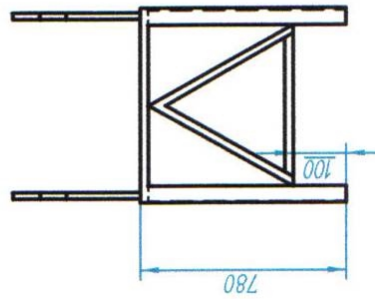
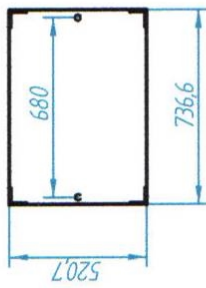
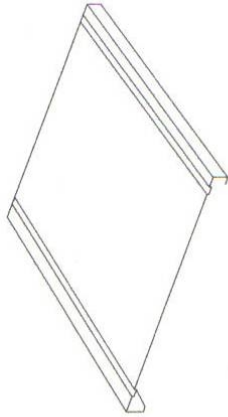
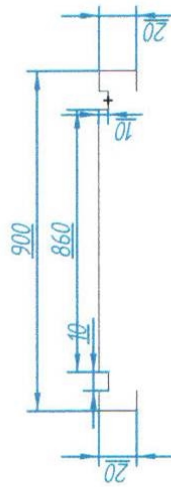
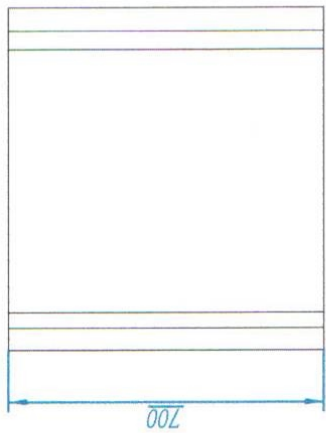


Lámina de acero A-36 Calibre 14  
e = 7.94 mm

Dibujó:	R. Varela	Universidad Industrial de Santander	Escuela de Ing. Mecánica
Revisó:	O. Gelvez	Placa de presión	Esc. 110 isométrica
	Plano N°03002		1:7 Vistas ortogonales
	Medidas en milímetros		Febrero de 2004



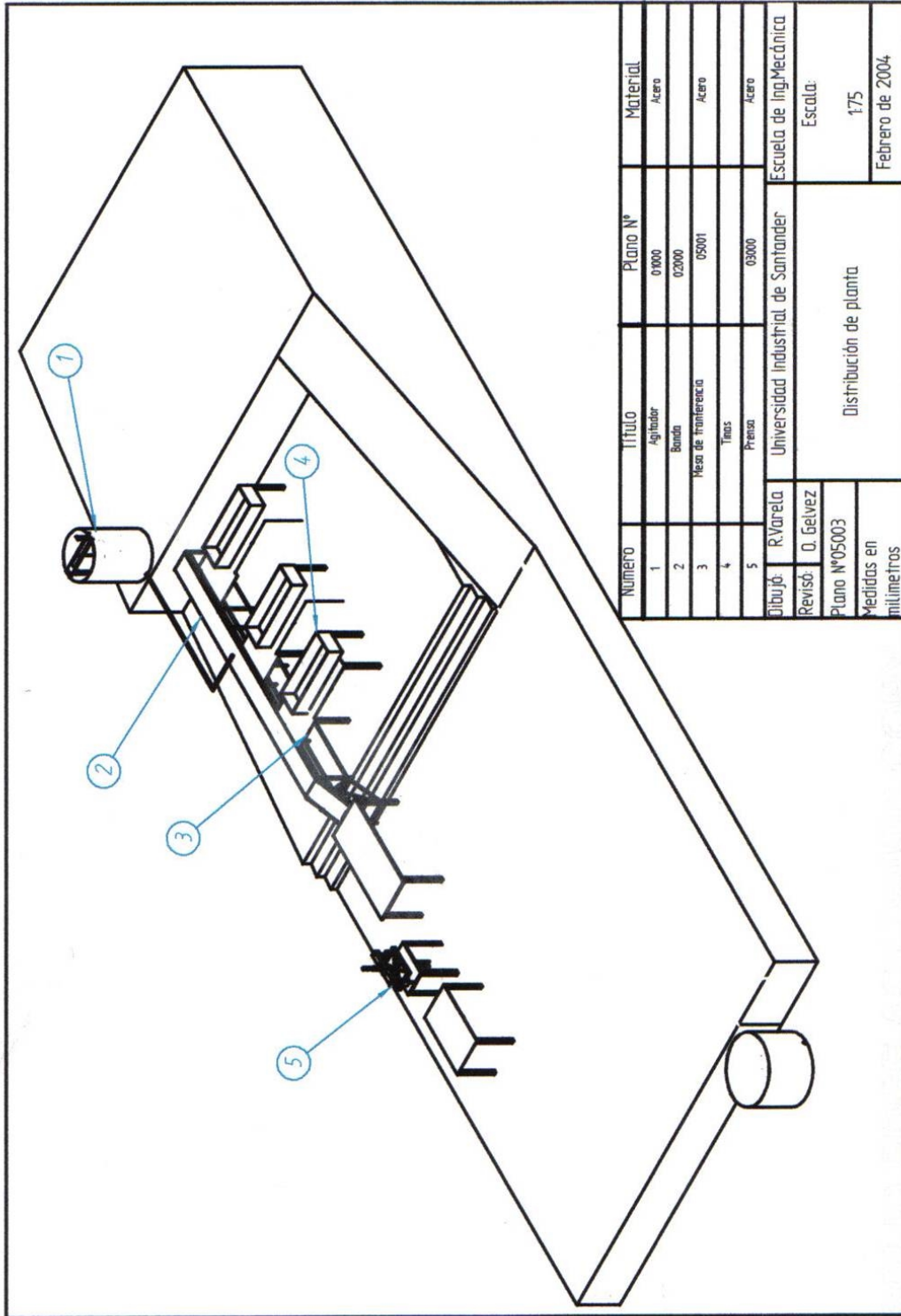
Dibujó:	R. Varela	Universidad Industrial de Santander	Escuela de Ing. Mecánica
Revisó:	O. Geivez	Estructura de la Prensa	Escala:
Plano N° 03003			1:20
Medidas en milímetros			Febrero de 2004



Material LAMINA de acero Calibre 18

Dibujó:	R.Varela	Universidad Industrial de Santander	Escuela de Ing.Mecánica
Revisó:	O. Geivez	Mesa de transferencia	Escala: sin
Plano N°05001			Febrero de 2004
Medidas en milímetros			





Numero	Título	Plano N°	Material
1	Agitador	01000	Acero
2	Banda	02000	
3	Meza de transferencia	03001	Acero
4	Tornos		
5	Presas	03000	Acero

Dibujó:	R.Varela	Universidad Industrial de Santander	Escuela de Ingeniería Mecánica
Revisó:	D. Geivez		Escala:
Plano N°05003		Distribución de planta	175
Medidas en milímetros			Febrero de 2004